

ปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนม โพลีแซคคาไรด์ และสารเพิ่มความคงตัว
ทางการค้าในการพัฒนาพุดดิ้งข้าวหอมมะลิ

นางสาวสุนันทา ประจำ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2558

**INTERACTION OF MILK PROTEINS,
POLYSACCHARIDES AND COMMERCIAL
STABILIZERS IN PRODUCT DEVELOPMENT
OF JASMINE RICE PUDDING**

Sunanta Pracham

A large, faint watermark of the Suranaree University of Technology logo is centered on the page. The logo features a stylized figure standing within a triangular frame, with a gear-like base and Thai text at the bottom.

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Food Technology
Suranaree University of Technology
Academic Year 2015**

ปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนม โพลีแซคคาไรด์ และสารเพิ่มความคงตัวทางการค้า ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.จิรวัดน์ ขงสวัสดิกุล)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ศิริวัฒน์ ไทยอุดม)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.รัชฎาพร อุ่นศิริไธย)

กรรมการ

(อ. ดร.ธนาวิทย์ กุลรัตนรักษ์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรมการ

(ศ. ดร.หนึ่ง เตียอำรุง)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

สุนันทา ประจำ : ปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนม โพลีแซคคาไรด์ และสารเพิ่มความคงตัว
ทางการค้าในการพัฒนาพุดดิ้งข้าวหอมมะลิ (INTERACTION OF MILK PROTEINS,
POLYSACCHARIDES AND COMMERCIAL STABILIZERS IN PRODUCT
DEVELOPMENT OF JASMINE RICE PUDDING) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิววัฒน์ ไทยอุดม, 101 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาพุดดิ้งข้าวโดยใช้แป้งข้าวหอมมะลิ 2 ชนิด ที่มีปริมาณโปรตีนแตกต่างกัน (แป้งข้าวหอมมะลิโปรตีนสูงหรือ HPJF มีโปรตีนร้อยละ 7.70 และแป้งข้าวหอมมะลิโปรตีนต่ำหรือ LPJF มีโปรตีนร้อยละ 3.54) เป็นวัตถุดิบในการผลิตและใช้สารเพิ่มความคงตัวผสมระหว่างแคปพาการิจีน (κ-carrageenan; K) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 0.50 และ 1.00 โดยน้ำหนัก ผสมกับไฮดรอกซีโพรพิลสตาร์ช (hydroxypropyl starch; HPS) หรือออกเทนิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์สตาร์ช (octenyl succinic anhydride starch; OSA) ให้มีปริมาณรวมเท่ากับปริมาณของแป้งโดยรวมเท่ากับปริมาณของแป้งในไข่ ทั้งนี้ใช้โปรตีนจากนมผงขาดมันเนย (Skim milk powder: SMP) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของพุดดิ้งด้วย

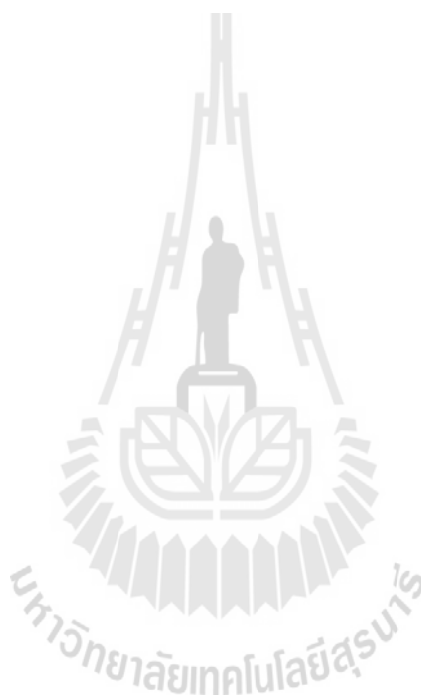
จากการศึกษาคุณสมบัติทางด้านความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิและปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนมกับแป้งข้าวหอมมะลิในรูปของเฟสไดอะแกรมพบว่า HPJF มีค่า pasting temperature trough viscosity final viscosity และ setback มากกว่า แต่มีค่า peak viscosity และ breakdown น้อยกว่า LPJF ส่วนเฟสไดอะแกรมพบว่า ทั้ง HPJF และ LPJF ไม่สามารถรวมตัวเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันกับโปรตีนนมได้ ทั้งนี้ยังพบพื้นที่การเกิดเจลของ LPJF กับโปรตีนนม แต่ไม่พบพื้นที่การเกิดเจลของ HPJF กับโปรตีนนมในระดับความเข้มข้นที่ศึกษา

เมื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและวิทยากระแส (G' G'' และ $\tan \delta$) ของพุดดิ้งพบว่าพุดดิ้งทุกสูตรมีสีเหลืองอ่อนแต่พุดดิ้งสูตรใส่ไข่จะมีสีเหลืองเข้มกว่าสูตรอื่น ๆ การใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่และความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสมที่แตกต่างกันจะส่งผลให้พุดดิ้งมีเนื้อสัมผัสที่แน่นแข็งและมีความคงตัวมากขึ้นโดยเฉพาะในพุดดิ้งที่ทำจาก LPJF ทั้งนี้พุดดิ้งทุกสูตรมีค่า G' มากกว่า G'' และค่า $\tan \delta$ ของทุกตัวอย่างมีค่าน้อยกว่า 1 ในทุกความถี่ที่ศึกษาแสดงให้เห็นว่าพุดดิ้งข้าวหอมมะลิเหล่านี้มีลักษณะเป็นเจลอ่อน ๆ

ส่วนโครงสร้างภายในของพุดดิ้งข้าวพบว่า เจลของ LPJF มีโครงร่างแหสามมิติที่ละเอียดเกาะกลุ่มกันแน่นมากกว่า แต่มีช่องว่างระหว่างกลุ่มน้อยกว่าเจลของ HPJF นอกจากนี้โปรตีนนมบางส่วนก็ยังแทรกซึมเข้าไปอยู่ในโครงสร้าร่างแหของเจล LPJF ได้ดีกว่า จึงเป็นผลทำให้พุดดิ้งที่ทำจาก LPJF มีความแข็งแรงและคงตัวมากกว่าพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF

การประเมินผลทางประสาทสัมผัสแบบทดสอบความแตกต่างพบว่า พุดding 1.00KOSA_HPJF และพุดding 0.25KOSA_LPJF มีความแตกต่างไปจากสูตรควบคุมน้อยที่สุด จึงนำพุดding ทั้ง 2 สูตรมาประเมินการยอมรับพบว่า ค่าคะแนนการยอมรับในทุก ๆ ด้านที่ทดสอบอยู่ในระดับยอมรับปานกลางถึงยอมรับมาก ทั้งนี้พุดding ข้าวหอมมะลิมีอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 วัน

จากงานวิจัยนี้จะเห็นศักยภาพของการใช้แป้งข้าวหอมมะลิมาทำพุดding ข้าวและการนำเสนอเพิ่มความคงตัวมาใช้ทดแทนไข่ยังสามารถช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของพุดding ให้ดีขึ้นกว่าเดิมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ด้วย



SUNANTA PRACHAM : INTERACTION OF MILK PROTEINS,
POLYSACCHARIDES AND COMMERCIAL STABILIZERS IN
PRODUCT DEVELOPMENT OF JASMINE RICE PUDDING.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SIWATT THAIUDOM, Ph.D., 101 PP.

RICE PROTEIN CONTENT/JASMINE RICE PUDDING/TEXTURE/RHEOLOGY

The objective of this research was to develop rice pudding using jasmine rice flour with 2 different protein contents (high protein jasmine rice flour or HPJF ~7.70% protein content and low protein jasmine rice flour or LPJF ~3.54% protein content). Mixed stabilizers (KHPS and KOSA) composed of κ -carrageenan (K) at 0.25, 0.50, and 1.00% with hydroxypropyl starch (HPS) or octenyl succinic anhydride starch (OSA) were used for egg substitution by controlling the total solid content at the same level of that in the egg. Milk protein from skim milk powder (SMP) was used as an essential ingredient in the pudding too.

Jasmine flour viscosity and the interaction of milk protein-rice flour were studied. Pasting temperature, trough viscosity, final viscosity, and setback of HPJF were higher than those of LPJF, but peak viscosity and breakdown showed the inverse results. An incompatible area could be seen in the mix between milk protein and LPJF or HPJF. However, the gel zone could be seen only in the mix of milk protein and LPJF.

The physical and rheological properties (G' , G'' , and $\tan \delta$) of the puddings were determined. All puddings with different formulations were in the light yellow color but the one with egg had a yellower color than the substituted ones. However, the mixed stabilizers and their concentration could enhance the harder texture and more stable

structure, especially in the LPJF puddings. All puddings provided higher G' than G'' while $\tan \delta$ was less than 1 in all studied frequencies, concluding that these puddings behaved like a soft gel.

The microstructures presented in 3-dimensional networks of LPJF gel were finer and showed a tighter cluster, but less in void spaces than those of HPJF gel. Also, some milk proteins could adsorb into the 3-dimensional network structure of LPJF gel better than that of HPJF gel, resulting in the harder texture and more stable structure.

For the sensorial difference test, there was no significant difference among 1.00KOSA_HPJF, 0.25KOSA_LPJF, and control. Both formulae except control were sensorial evaluated again with the acceptance test and the results showed that both puddings received scores in the range of moderate to high acceptance for all attributes. These puddings had a shelf life at 5°C for around 10 days.

This research explored the potential of using jasmine rice flour in pudding production while mixed stabilizers can eliminate the drawback of texture and egg-smell in the pudding, resulting in more consumer acceptance.

School of Food Technology

Academic Year 2015

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวต ไทยอุดม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้ความรู้ ความเอาใจใส่ ให้คำปรึกษา ชี้แนะ ให้ความช่วยเหลือในการตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.จิรวัฒน์ ขงสวัสดิกุล ประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชฎาพร อุ่นศิริไธย์ และ อาจารย์ ดร.ธนาวิทย์ กุศลรัตนรักษ์ กรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ที่ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวชื่อมา ณ ที่นี้ ที่ให้ความรู้ในด้านวิชาและคำแนะนำต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่ศึกษาในมหาวิทยาลัยแห่งนี้

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้โอกาสทางการศึกษาและสนับสนุนทุนการศึกษาซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสศึกษาต่อในระดับปริญญาโท

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาคารเครื่องมือ 3 และ 10 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่ตลอดเวลาให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในงานวิจัยให้ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ ดูแลเอาใจใส่และส่งเสริมให้มีโอกาสได้ศึกษาเล่าเรียน ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้อง ๆ ทุกคน ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ คำแนะนำประสบการณ์และให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุนันทา ประจำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	3
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ข้าว.....	5
2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว.....	6
2.1.1.1 สตาร์ช.....	6
2.1.1.2 โปรตีน.....	7
2.1.1.3 ไขมัน.....	8
2.1.2 คุณสมบัติของข้าวและแป้งข้าว.....	8
2.1.2.1 การพองตัวและการละลาย (swelling and solubility).....	8
2.1.2.2 สมบัติทางความหนืด (viscosity/pasting properties).....	9
2.1.2.3 การเกิดเจลในเซชัน (gelatinization).....	10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.2.4 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)	11
2.2 โปรตีนนม	11
2.3 การจีแนน	13
2.4 แป้งคัดแปร	14
2.5 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนนมและโพลีแซคคาไรด์	16
2.5.1 ประเภทของพันธะและแรงภายในโมเลกุลที่เกิดขึ้นในส่วนผสม	
ระหว่างโปรตีนกับโพลีแซคคาไรด์	16
2.5.1.1 พันธะโคเวเลนต์ (covalent bond)	16
2.5.1.2 แรงอิเล็กโตรสแตติก (electrostatic force)	16
2.5.1.3 Excluded volume	16
2.5.1.4 พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)	17
2.5.1.5 แรงไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction)	17
2.5.1.6 แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force)	17
2.5.2 การเกิดปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์	17
2.6 เนื้อสัมผัส (Texture)	19
2.7 วิทยาการเสถียร (Rheology)	21
3 วัสดุและวิธีการทดลอง	24
3.1 วัตถุดิบ	24
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	24
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	25
3.3.1 การเตรียมแป้งข้าวหอมมะลิ	25
3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิ	25
3.3.3 การศึกษาคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิ	25
3.3.4 การศึกษากลไกปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนมและโพลีแซคคาไรด์	
จากข้าวหอมมะลิ	26
3.3.5 การผลิตพุดดิ้งข้าวหอมมะลิ	26
3.3.6 การวัดเนื้อสัมผัสพุดดิ้งข้าวหอมมะลิ	27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.7	การวัดสีพุดดิงข้าวหอมมะลิ	27
3.3.8	การวัดความคงตัวของพุดดิงข้าวหอมมะลิ	28
3.3.9	การวัดคุณสมบัติทางวิทยากระแสนของพุดดิงข้าวหอมมะลิ	28
3.3.10	การศึกษาโครงสร้างภายในพุดดิงข้าวหอมมะลิ	28
3.3.11	การประเมินผลทางประสาทสัมผัสพุดดิงข้าวหอมมะลิ	29
3.3.11.1	การประเมินความแตกต่าง	29
3.3.11.2	การประเมินการยอมรับ	29
3.3.11.3	การประเมินความแตกต่าง	29
3.3.11.4	การประเมินความแตกต่าง	29
3.3.11.5	การประเมินความแตกต่าง	29
3.3.12	การศึกษาอายุการเก็บของพุดดิงข้าวหอมมะลิ	29
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	31
4.1	องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติต่าง ๆ ของแป้งข้าวหอมมะลิ	31
4.1.1	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิ	32
4.1.2	คุณสมบัติทางความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิ	32
4.1.3	ปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนมและแป้งข้าวหอมมะลิ	35
4.2	คุณสมบัติทางกายภาพและวิทยากระแสนของพุดดิงข้าวหอมมะลิ	37
4.2.1	คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของพุดดิงข้าวหอมมะลิ	37
4.2.2	สีของพุดดิงข้าวหอมมะลิ	42
4.2.3	ความคงตัวระหว่างการเก็บรักษาของพุดดิงข้าวหอมมะลิ	44
4.2.4	คุณสมบัติทางวิทยากระแสนของพุดดิงข้าวหอมมะลิ	44
4.3	โครงสร้างภายในของพุดดิงข้าว	53
4.4	การประเมินผลทางประสาทสัมผัสพุดดิงข้าวหอมมะลิ	61
4.4.1	การประเมินความแตกต่างพุดดิงข้าวหอมมะลิ	61
4.4.2	การประเมินการยอมรับพุดดิงข้าวหอมมะลิ	61
4.5	การศึกษาอายุการเก็บรักษาของพุดดิงข้าวหอมมะลิ	63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	64
5.1	บทสรุป.....	64
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	65
	รายการอ้างอิง	66
	ภาคผนวก.....	73
	ภาคผนวก ก วิธีการทดลอง	74
	ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	83
	ประวัติผู้เขียน.....	101



สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

4.1	องค์ประกอบทางเคมีของ HPJF และ LPJF	32
4.2	คุณสมบัติทางความหนืดของ HPJF และ LPJF	33
4.3	คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสพุดdingข้าวหอมมะลิ แบบประเมินความแตกต่าง	62
4.4	คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสพุดdingข้าวหอมมะลิ แบบประเมินการยอมรับ	62
4.5	คุณภาพทางจุลินทรีย์ของพุดdingข้าวหอมมะลิสูตร 0.25KOSA_LPJF	63

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของสารประกอบ 2-acetyl-1-pyrroline.....	6
2.2 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน	7
2.3 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วย เครื่อง Rapid Visco Analyzer.....	10
4.1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ของสารละลาย HPJF ก่อนต้ม (a); สารละลาย HPJF หลังต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 3 นาที (b); สารละลาย LPJF ก่อนต้ม (c) และสารละลาย LPJF หลังต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 3 นาที (d).....	35
4.2 เฟสโคอะแกรมของ LPJF กับโปรตีนนม SMP.....	36
4.3 Hardness (a1 b1) Gumminess (a2 b2) และ Chewiness (a3 b3) ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3)	40
4.4 Springiness (a1 b1) Cohesiveness (a2 b2) และ Adhesiveness (a3 B3) ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3).....	41
4.5 ค่าสีในระบบ CIE (L* a* b*) ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3)	43
4.6 สีของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3) ในสูตรใส่ไข่ (a1 b1) และสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัว KHPS (a2 b2) และ KOSA (a3 b3) แทนไข่.....	44
4.7 ค่าการเยิ้มของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a) และ LPJF (b).....	45
4.8 G' (เส้นทึบ) และ G'' (เส้นประ) ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a) และ LPJF (b) สูตรใส่ไข่.....	48
4.9 G' (เส้นทึบ) และ G'' (เส้นประ) ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3) สูตรใส่สารเพิ่มความคงตัว KHPS แทนไข่	29
4.10 G' (เส้นทึบ) และ G'' (เส้นประ) ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3) สูตรใส่สารเพิ่มความคงตัว KOSA แทนไข่.....	50
4.11 tan δ ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a) และ LPJF (b) สูตรใส่ไข่.....	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.12 $\tan \delta$ ของพุดดิ่งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3) สูตรใส่สารเพิ่มคงตัว KHPS แทนไข่.....	52
4.13 $\tan \delta$ ของพุดดิ่งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3) สูตรใส่สารเพิ่มคงตัว KOSA แทนไข่.....	53
4.14 ภาพจากกล้องคอนโฟคอลของ paste HPJF (a) paste LPJF (b) สารเพิ่มความคงตัว ผสม 1.00KHPS (c) 1.00KOSA (d) และสารละลาย SMP (e).....	55
4.15 ภาพจากกล้องคอนโฟคอลของส่วนผสมระหว่าง paste แป้งข้าวหอมมะลิกับ สารละลายนมผงขาดมันเนย (SMP); paste HPJF (a1); SMP ในส่วนผสมที่มี paste HPJF (a2); ระบบส่วนผสมของ paste HPJF กับ SMP ($a1 + a2 = a3$); paste LPJF (a2); SMP ในส่วนผสมที่มี paste LPJF (a2); ระบบส่วนผสมของ paste LPJF กับ SMP ($b1 + b2 = b3$)	56
4.16 ภาพจากกล้องคอนโฟคอลของส่วนผสมระหว่างสารเพิ่มความคงตัวผสมกับ สารละลายนมผงขาดมันเนย (SMP); 1.00KHPS (a1); SMP ในส่วนผสมที่มี 1.00KHPS (a2); ระบบส่วนผสมของ 1.00KHPS กับ SMP ($a1 + a2 = a3$); 1.00KOSA (b1); SMP ในส่วนผสมที่มี 1.00KOSA (b2); ระบบส่วนผสมของ 1.00KOSA กับ SMP ($b1 + b2 = b3$)	57
4.17 ภาพจากกล้องคอนโฟคอลของพุดดิ่งข้าวหอมมะลิที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3 และ a4) และ LPJF (b1 b2 b3 และ b4) ในสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสม 1.00KHPS แทนไข่.....	59
4.18 ภาพจากกล้องคอนโฟคอลของพุดดิ่งข้าวหอมมะลิที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3 และ a4) และ LPJF (b1 b2 b3 และ b4) ในสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสม 1.00KOSA แทนไข่	60
ก.1 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณอะไมโลส (กรัมต่อสตาร์ชข้าว 100 กรัม) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร	78

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a*	=	Redness
APTS	=	8-amino-1,3,6-pyrenetrisulfonic acid
ANOVA	=	Analysis of variance
b*	=	Yellowness
°C	=	Celsius degree
cfu/g	=	Colony forming unit per gram
CIE	=	Commission international de l'Eclairage
E	=	Egg
FITC	=	Fluorescein isothiocyanate isomer I
G'	=	Storage modulus
G''	=	Loss modulus
HPJF	=	High protein jasmine rice flour
HPS	=	Hydroxypropyl starch
Hz	=	Hertz
K	=	Kappa-carrageenan
KHPS	=	mixed stabilizer between kappa-carrageenan and hydroxypropyl starch
KOSA	=	mixed stabilizer between kappa-carrageenan and octenyl succinic anhydride starch
L*	=	Lightness
LVR	=	Linear viscoelastic region
LPJF	=	Low protein jasmine rice flour
MPN/g	=	Most probable number per gram
OSA	=	Octenyl succinic anhydride starch
Pa	=	Pascal
RVU	=	Rapid visco unit
RITC	=	Rhodamine-B-isothiocyanate
SMP	=	Skim milk powder
tan δ	=	Loss tangent

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีการส่งออกเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศและผลิตภัณฑ์จากข้าวก็เป็นอีกหนึ่งในสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรที่น่าจับตามอง แม้ว่าตลาดในประเทศจะขยายตัวไม่มากนัก แต่ตลาดการส่งออกมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ข้าวที่น่าสนใจคือการผลิตเป็นแป้งแบบฟลาวร์ข้าว (rice flour) และสตาร์ชข้าว (rice starch) เพื่อเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น การใช้แป้งข้าวเจ้าแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ซึ่งจะมีคุณค่าทางอาหารและมีประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่มีอาการแพ้สารบางชนิดในแป้งสาลีที่เรียกว่าโรคเซลิแอค (celiac disease) หรือการใช้แป้งข้าวเป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ซูปร็อกซ์อาหารเด็กอ่อน พุดดิ้ง เป็นต้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มความเหนียว ความหนืดและให้ความคงตัวแก่ผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลและช่วยให้ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารให้ดีขึ้น ทั้งนี้ข้าวที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั้งในประเทศและนอกประเทศเป็นอย่างมากคือ ข้าวหอมมะลิ (Thai jasmine rice) เนื่องจากเมื่อผ่านการหุงสุกแล้วจะได้เมล็ดข้าวสุกที่อ่อนนุ่มมากกว่าข้าวเจ้าทั่วไปแต่ร่วนน้อยกว่าและมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติที่น่ารับประทาน ซึ่งสารหอมหลักที่พบในข้าวหอมมะลิก็คือสาร 2-อะซิetyl-1-ไพโรลีน (2-acetyl-1-pyrroline, 2AP) ค้นพบครั้งแรกโดย Buttery, Ling, and Juliano (1982) เป็นสารประกอบประเภทที่มีโครงสร้างแบบวงแหวน (heterocyclic) ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นหอมเดียวกับสารที่พบในใบเตย แต่ความเข้มข้นของ 2AP ในใบเตยมีมากกว่าในข้าวหอมที่ผ่านการขัดสีแล้วถึง 10 เท่า (Buttery, Ling, Juliano, and Turnbaugh, 1983)

แป้งที่เรียกว่า ฟลาวร์ (flour) กับแป้งที่เรียกว่า สตาร์ช (starch) มีความแตกต่างกันในเรื่องขององค์ประกอบทางเคมี โดยที่ฟลาวร์จะมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักและมีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ปะปนอยู่มาก ส่วนแป้งที่เรียกว่า สตาร์ช จะไม่มีโปรตีน ไขมัน และเกลือแร่หรือมีอยู่น้อยมาก จึงทำให้สตาร์ชมีความบริสุทธิ์ของแป้งสูงกว่าฟลาวร์ ดังนั้นสตาร์ชก็จะหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำฟลาวร์มาผ่านกระบวนการกำจัดองค์ประกอบเคมีอื่น ๆ ที่อยู่รวมกับสตาร์ชออก โดยเฉพาะการแยกส่วนของโปรตีนออกด้วยการใช้สารละลายเบสซึ่งจะทำให้ได้สตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์ของแป้งมากขึ้น โดยทั่วไปสตาร์ชข้าวที่ได้จะมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่เพียงร้อยละ 0.02-0.12 ของน้ำหนักแห้ง (อรอนงค์, 2547) ในสตาร์ชข้าวจะมีอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) เป็นองค์ประกอบ อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

เป็นปัจจัยสำคัญที่จะมีผลต่อสมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์ที่สำคัญคือการส่งผลต่อเนื้อสัมผัส สำหรับสตาร์ชข้าวหอมมะลินั้นมีปริมาณอะไมโลสอยู่ประมาณร้อยละ 12-19 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งจัดเป็นข้าวอะไมโลสต่ำ (อรอนงค์, 2547)

พุดดิ้งข้าวเป็นอาหารหวานที่ได้รับความนิยมบริโภคมากในเขตประเทศยุโรปและอเมริกา โดยใช้เป็นส่วนประกอบในงานพิธีทางศาสนา อาหารหลัก และอาหารว่าง ตามโอกาสต่าง ๆ ทั้งนี้ ส่วนประกอบหลักที่สำคัญของพุดดิ้งข้าว ได้แก่ นม ข้าวหรือแป้งข้าว ไข่ สารให้ความหวาน และสารเติมแต่งกลิ่นรส เช่น วานิลลา โดยพุดดิ้งที่ดีจะต้องมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มเนียน และมีความคงตัวของเนื้อพุดดิ้งอย่างสม่ำเสมอ (Sajilata and Singhal, 2005) ปัญหาส่วนหนึ่งที่พบได้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทนี้ที่มีส่วนประกอบของแป้ง โพลีแซคคาไรด์ และโปรตีนนม คือ การเกิดการแยกส่วนของเนื้อกับน้ำของผลิตภัณฑ์ออกจากกันหรือที่เรียกว่า การเยิ้ม (syneresis) เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่งในที่มีอุณหภูมิต่ำหรือในตู้เย็น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นจากผลของการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ของแป้งหรือโพลีแซคคาไรด์ (Sajilata and Singhal, 2005) และ/หรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ (de Bont, van Kempen and Vreeker, 2002) ประกอบกับการบริโภคพุดดิ้งข้าวในเมืองไทยยังไม่เป็นที่แพร่หลายเนื่องจาก รูปแบบและคุณภาพของพุดดิ้งข้าวที่ผลิตในเมืองไทยยังไม่ดึงดูดใจผู้บริโภคและผู้บริโภคไม่ยอมรับในกลิ่นไข่ที่เป็นส่วนประกอบของพุดดิ้ง นักพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจึงพยายามลดส่วนประกอบที่เป็นไขลงแต่ผลที่ได้อาจทำให้โครงสร้างโดยเฉพาะเนื้อสัมผัสของพุดดิ้งสูญเสียสภาพได้ ดังนั้นการนำสารเพิ่มความคงตัวมาใช้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะพยายามรักษาเนื้อสัมผัสของพุดดิ้งให้มีลักษณะเป็นปกติเหมือนกับมีส่วนประกอบของไข่แต่ไม่มีกลิ่นของไข่ อย่างไรก็ตาม การใส่สารเพิ่มความคงตัวอาจก่อให้เกิดผลทั้งด้านบวกและด้านลบแก่คุณภาพของพุดดิ้งที่ได้ โดยผลด้านบวกนั้นคือสารเพิ่มความคงตัวอาจทำให้เนื้อสัมผัสของพุดดิ้งมีความคงทนต่อการเยิ้มจากกลไกการเกิดแรงอิเล็กโตรสแตติก (electrostatic interaction) ระหว่างส่วนที่เป็นขี้ของโปรตีนนม และสารเพิ่มความคงตัวบางชนิดที่มีขี้ประจุ เช่น คาราจีแนน (Drohan, Tziboula, McNulty, and Horne, 1997; Langendorff et al., 2000; Spagnuolo, Dalgleish, Goff, and Morris, 2005; Verbeken, Bael, Thas, and Dewettinck, 2006) หรือแป้งดัดแปรบางชนิด ในทางตรงกันข้ามปริมาณหรือชนิดของสารเพิ่มความคงตัวบางอย่างอาจทำให้เกิดการแยกชั้นของส่วนที่เป็นน้ำและเนื้อของพุดดิ้งมากขึ้นจากกลไกการเกิด complex coacervation หรือ depletion flocculation (Bourriot, Garnier, and Doublier, 1999; Doublier, Garnier, Renard, and Sanchez, 2001) ในงานวิจัยนี้จะใช้สารเพิ่มความคงตัว 3 ชนิด ได้แก่ แคลปาคาราจีแนน (κ -carragenan) ไฮดรอกซีโพรพิลสตาร์ช (hydroxypropyl starch) และออกเทนิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์สตาร์ช (octanoyl succinic anhydride starch) โดยการใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมระหว่างแคลปาคาราจีแนนกับไฮดรอกซีโพรพิลสตาร์ช หรือแคลปาคารา-

จีแนกับออกเทนิลซัคซินิกแอโนไฮโดรด์สตาร์ช ในปริมาณที่เท่ากับปริมาณของแป้งในไข่ การใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมเหล่านี้แทนไข่จะช่วยทำให้พุดดิ้งข้าวมีเนื้อสัมผัสที่ดีและมีความคงตัวมากขึ้นเพราะสารเพิ่มความคงตัวเหล่านี้มีคุณสมบัติที่ช่วยทำให้เกิดเจลแต่ลักษณะของเจลที่ได้อาจจะมี ความแตกต่างกันไปตามชนิดของสารเพิ่มความคงตัว

จากเหตุผลข้างต้นที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัสและกลิ่นไข่ทำให้การผลิตและการบริโภคพุดดิ้ง ในประเทศไทยยังไม่เป็นที่แพร่หลาย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จึงอาจใช้วัตถุดิบของแป้งข้าวหอมมะลิที่มีกลิ่นหอมหวานมาทดแทนแป้งมันฝรั่งหรือข้าวโพด และใช้สารเพิ่มความคงตัวมาใช้ทดแทนการใช้ไข่เพื่อกำจัดกลิ่นไข่แต่ในขณะเดียวกันก็ให้สมบัติในการคงรูปทรงของพุดดิ้งได้ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนอกจากจะเป็นการสร้างนวัตกรรมทางการใช้ประโยชน์จากข้าวหอมมะลิแล้วยังถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าวไทยอีกด้วย อย่างไรก็ตามการนำข้าวหอมมะลิมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์พุดดิ้งข้าวหอมมะลินี้จำเป็นต้องพิจารณาหลายปัจจัยเป็นองค์ประกอบ ไม่ว่าจะเป็นปริมาณการใช้แป้งข้าวหอมมะลิ โปรตีนนม สารเพิ่มความคงตัว การผลิตและการเก็บรักษา ตลอดจนผลที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมุ่งเน้นศึกษากลไกปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนมและโพลีแซคคาไรด์จากข้าวหอมมะลิอันส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพ วิทยากระแส โครงสร้างภายในและผลทางประสาทสัมผัสของพุดดิ้งข้าวหอมมะลิและการยอมรับของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของตลาดในประเทศไทยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อให้เข้าใจกลไกปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนม โพลีแซคคาไรด์จากข้าวหอมมะลิและสารเพิ่มความคงตัวในพุดดิ้งข้าว

1.2.2 เพื่อให้ทราบถึงผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนนม โพลีแซคคาไรด์จากข้าวหอมมะลิและสารเพิ่มความคงตัวต่อคุณภาพทางกายภาพ วิทยากระแส โครงสร้างภายใน และผลทางประสาทสัมผัสของพุดดิ้งข้าวหอมมะลิ

1.2.3 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้จากการใช้ข้าวหอมมะลิโดยพิจารณาการปรับสูตรที่เหมาะสมต่อการยอมรับของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การใช้สารเพิ่มความคงตัวแทนไข่อาจทำให้คุณภาพทั้งทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของพุดดิ้งข้าวเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนม โพลีแซคคาไรด์และสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยปฏิสัมพันธ์ดังกล่าวขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณ สัดส่วน ความเหมาะสมของสารประกอบหลักทั้ง 3 ส่วนหรือสูตรของพุดดิ้งเป็นสำคัญ

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 พุดคิงข้าวหอมมะลิสูตรใส่ไข่หรือสูตรควบคุมจะประกอบด้วย เพสต์แป้งข้าวหอมมะลิร้อยละ 29.02 โดยน้ำหนัก สารละลายนมผงขาดมันเนยร้อยละ 56.29 โดยน้ำหนัก ไข่ไก่ 1 ฟอง คิดเป็นร้อยละ 5.86 โดยน้ำหนัก น้ำตาลทรายร้อยละ 7.27 โดยน้ำหนัก เกลือร้อยละ 0.09 โดยน้ำหนัก และมาการีนร้อยละ 1.47 โดยน้ำหนัก

1.4.2 พุดคิงข้าวหอมมะลิสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่ จะประกอบไปด้วยเพสต์แป้งข้าวหอมมะลิ สารละลายนมผงขาดมันเนย น้ำตาลทราย เกลือ และมาการีนในสัดส่วนเดียวกันกับสูตรควบคุม แต่จะใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่ โดยใช้แคปไซคาร์จีแนนที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.25 0.50 และ 1.00 โดยน้ำหนัก ผสมกับไฮดรอกซีโพรพิลสตาร์ชหรือออกเทนิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์สตาร์ชให้มีปริมาณรวมเท่ากับปริมาณของแป้งในไข่

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 การศึกษากลไกปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนม โพลีแซคคาไรด์และสารเพิ่มความคงตัว

1.5.2 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ วิทยากระแส โครงสร้างภายใน และการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของพุดคิงข้าวหอมมะลิที่มีการใช้สารเพิ่มความคงตัวทางการค้าเปรียบเทียบกับพุดคิงสูตรใส่ไข่

1.5.3 การปรับสูตรพุดคิงข้าวหอมมะลิให้เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ผลิตภัณฑ์พุดคิงข้าวหอมมะลิที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส

1.6.2 ได้รับองค์ความรู้เกี่ยวกับกลไกปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนม โพลีแซคคาไรด์ และสารเพิ่มความคงตัวในพุดคิงข้าว และทราบถึงผลของปฏิสัมพันธ์ต่อคุณภาพทางกายภาพ วิทยากระแส โครงสร้างภายในและผลทางประสาทสัมผัสของพุดคิงข้าวหอมมะลิ

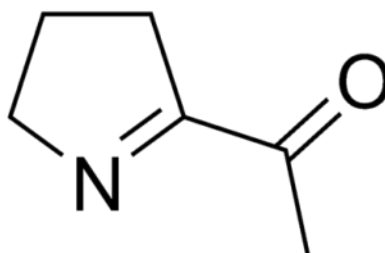
บทที่ 2

ปฐกษัตริย์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยววงศ์หญ้า (Family: Gramineae หรือ Poaceae) จัดอยู่ในสกุลออริซา (Genus: *Oryza*) เจริญได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ข้าวที่ปลูกเป็นอาหารในปัจจุบันคือ ข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud.) และข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* Linn.) โดยข้าวที่ค้าขายกันมากในตลาดโลกนั้นเป็นข้าวเอเชีย ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ อินดิกา (Indica) มีลักษณะเมล็ดยาวรี ต้นสูง ปลูกมากในเขตร้อน เช่น ไทย อินเดีย จีน เวียดนาม ศรีลังกา อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ จาปอนิกา (Japonica) เป็นข้าวเมล็ดสั้นป้อม ต้นเตี้ย ปลูกทั่วไปในเขตอบอุ่น เช่น เกาหลี และญี่ปุ่น และสุคท้ายคือ จาวานิกา (Javanica) หรือข้าวชาวา มีลักษณะอยู่ระหว่างข้าวอินดิกาและจาวานิกา คือมีเมล็ดใหญ่ป้อม ต้นสูงปลูกในอินโดนีเซียและฟิลิปปินส์ แต่ไม่ได้รับความนิยมเพราะให้ผลผลิตต่ำ (อรอนงค์, 2547)

ในประเทศไทยมีการปลูกข้าวทั่วทุกภูมิภาค พันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกจะอยู่ในกลุ่มของอินดิกาซึ่งมีอยู่หลากหลายพันธุ์ การปลูกข้าวในแต่ละภาคของประเทศไทยขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของพันธุ์ข้าวต่อสภาวะแวดล้อมในแต่ละภาคและความนิยมในการบริโภคของประชากรที่มีอยู่ตามท้องถิ่นนั้น ๆ ทั้งนี้ข้าวที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั้งในประเทศและนอกประเทศเป็นอย่างมากคือ ข้าวหอมมะลิ (Thai jasmine rice) สายพันธุ์ที่สำคัญได้แก่ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105, KMDL105) และพันธุ์ กข 15 ได้มาจากการนำข้าวชาวดอกมะลิ 105 มาอาบรังสีแกมมาให้มีผลผลิตใกล้เคียงกับข้าวชาวดอกมะลิ 105 และมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นลง ซึ่งข้าวชาวดอกมะลิ 105 นี้ถือเป็นสายพันธุ์ที่ดีที่สุดในเรื่องความหอมและคุณภาพของเมล็ด (สวทช., 2552) เนื่องจากเมื่อผ่านการหุงสุกแล้วจะได้เมล็ดข้าวสุกที่อ่อนนุ่มมากกว่าข้าวเจ้าทั่วไปแต่ร่วนน้อยกว่าและมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติที่น่ารับประทาน สารหอมหลักที่พบในข้าวหอมมะลิคือ สาร 2-อะซิetyl-1-ไพโรลีน (2-acetyl-1-pyrroline, 2AP) ค้นพบครั้งแรกโดย Buttery, Ling, and Juliano (1982) เป็นสารประกอบประเภทเฮเทอโรไซ-คลิก (heterocyclic) ในกลุ่มไพโรล (pyrrole) ซึ่งเป็นวงแหวน 5 เหลี่ยมที่มีไนโตรเจนเกาะอยู่ในวง มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C=N) และมีหมู่อะซิetyl (acetyl group, CH₃CO-) เกาะกับคาร์บอนที่เกิดพันธะดังกล่าวที่ 2.1 สารนี้เป็นสารที่ให้กลิ่นหอมเดียวกับสารที่พบในใบเตยแต่ความเข้มข้นของ 2AP ในใบเตยมีมากกว่าในข้าวหอมที่ผ่านการขัดสีแล้วถึง 10 เท่า (Buttery, Ling, Juliano, and Turnbaugh, 1983)



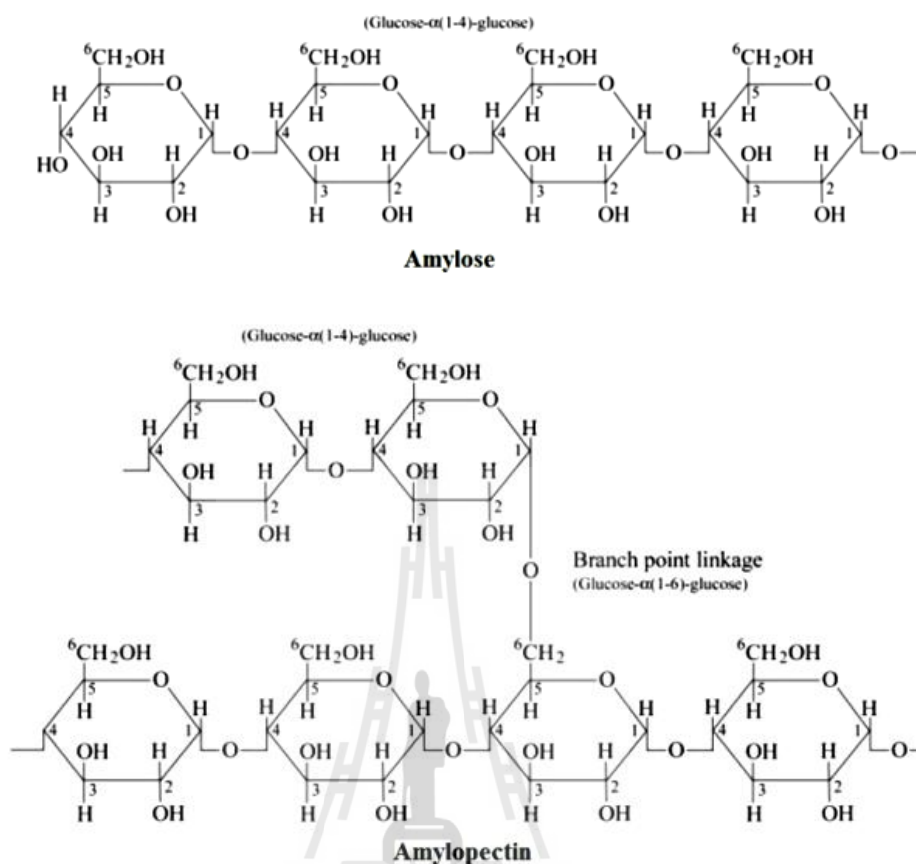
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของสารประกอบ 2-acetyl-1-pyrroline

แหล่งที่มา: Buttery, Ling, Juliano, and Turnbaugh (1983)

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

2.1.1.1 สตาร์ช

สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาไรด์ที่พบมากที่สุดในเนื้อของเมล็ดข้าว เม็ดสตาร์ช (starch granule) มีรูปร่างลักษณะเป็นหลายเหลี่ยม มีขนาดเล็กประมาณ 2-9 ไมโครเมตร รวมตัวกันอยู่ภายในอะไมโลพลาสต์ (amyloplast) จำนวน 20-60 โครงสร้างทางเคมีของสตาร์ชจะประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) โดยอะไมโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ยาวขดเป็นเกลียวแบบฮิลิกซ์ (helix) ด้วยพันธะแอลฟา-1,4-กลูโคซิดิก (α -1,4-glucosidic bond) และมีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,6-กลูโคซิดิก (α -1,6-glucosidic bond) บ้างเล็กน้อย ส่วนอะไมโลเพกตินจะเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคสโดยส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4-กลูโคซิดิก และส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาซึ่งเป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,6-กลูโคซิดิก (ภาพที่ 2.2) อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินของสตาร์ชนั้นจะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ของข้าวและจะมีผลต่อคุณสมบัติของสตาร์ช



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

แหล่งที่มา : Buleon, Colonna, Planchot, and Ball (1998)

2.1.1.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณรองจากสตาร์ช พบในรูปโปรตีนบอดีซึ่งประกอบด้วยโปรตีนและสตาร์ชและยังพบอยู่ในรูปของกรดอะมิโนอิสระและกรดนิวคลีอิกอีกด้วย (Lu and Luh, 1991) ในข้าวสารมีโปรตีนประมาณร้อยละ 5-10 โปรตีนในข้าวแบ่งออกเป็น 4 ชนิดตามสมบัติการละลาย ได้แก่ อัลบูมิน (albumin) เป็นโปรตีนที่ละลายในน้ำมีปริมาณร้อยละ 3.8-8.8 ของโปรตีนทั้งหมด โกลบูลิน (globulin) เป็นโปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือมีปริมาณร้อยละ 9.6-10.8 ของโปรตีนทั้งหมด โปรลามิน (prolamin) เป็นโปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์มีปริมาณร้อยละ 2.6-3.3 ของโปรตีนทั้งหมด และกลูเตลิน (glutelin) หรือออริเซนิน (oryzenin) เป็นโปรตีนที่ละลายในกรดหรือด่างเล็กน้อยมีปริมาณร้อยละ 66-78 ของโปรตีนทั้งหมด (Cagampang, Cruz, Espiritu, Santiago, and Juliano, 196; Chrastil, 1994; Matsuo, Futsuhara, Kikuchi, and Yamaguchi, 1997) งานวิจัยของ Harmaker and Griffin (1990; 1993) กล่าวว่าโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อ

การทำให้สุกและลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก เมื่อเกิดเจลลิตีในเซชัน โปรตีนที่เกาะอยู่บริเวณผิวของเมล็ดสตาร์จะสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับแป้งทำให้สตาร์มีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และความเหนียวของข้าวสุกต่ำกว่าข้าวที่ไม่มีโปรตีน

งานวิจัยของ Juliano, Onate and Del Mundo (1965) พบว่าปริมาณโปรตีนนั้นมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการหุงสุกของข้าว โดยเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นก็จะมีผลทำให้ระยะเวลาในการหุงสุกนานขึ้น Lee and Osman (1991) พบว่าโปรตีนจะขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในเมล็ดข้าว ทำให้เมล็ดข้าวดูดซับน้ำได้น้อยลง ข้าวสุกที่ได้จึงมีความนุ่มและความเหนียวลดลง ส่วน Hamaker and Griffin (1993) พบว่าแป้งข้าวที่มีปริมาณโปรตีนมาก โปรตีนจะดักจับอะไมโลสเอาไว้ในโปรตีนเมทริกซ์ ส่งผลให้อะไมโลสถูกชะออกมาจากเมล็ดสตาร์ได้ยากขึ้น และงานวิจัยของ Wongdechsaekul and Kongkiattikajorn (2009) พบว่าอาจเป็นเพราะการเกิดการเชื่อมโยงกันของโปรตีนซึ่งจะกีดขวางการแทรกซึมของน้ำที่จะเข้าไปในเมล็ดสตาร์ ทำให้เมล็ดสตาร์พองตัวไม่เต็มที่ อะไมโลสจึงซึมผ่านออกมาจากเมล็ดสตาร์ได้น้อย ส่งผลต่อคุณสมบัติทางความหนืดและเนื้อสัมผัสของแป้งข้าว

2.1.1.3 ไขมัน

ในข้าวสารมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่เล็กน้อยประมาณร้อยละ 0.3-0.5 มีลักษณะเป็นหยดกลมๆอยู่ทั้งภายในเมล็ดสตาร์และบริเวณผิวด้านนอกของเมล็ดสตาร์ โดยไขมันที่พบอยู่ในเมล็ดสตาร์นั้นจะมีทั้งที่เกาะเกี่ยวกับโครงสร้างของสตาร์และอยู่อย่างอิสระภายในเมล็ดสตาร์ ไขมันพวกนี้จะถูกเรียกว่า starch lipid หรือ internal lipid ส่วนไขมันที่อยู่บริเวณผิวด้านนอกของเมล็ดสตาร์นั้นจะแทรกอยู่ร่วมกับโปรตีนในชั้นแอลิวโรนหรือบริเวณผิวของเมล็ดสตาร์ ซึ่งไขมันชนิดนี้จะมีชื่อเรียกว่า non-starch lipid หรือ surface lipid (Chrastil, 1994) ประเภทของไขมันในข้าวส่วนใหญ่คือ ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) รองลงมาคือ ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) ไกลโคลิปิด (glycolipids) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ไขมันสามารถทำปฏิกิริยากับเอนไซม์เกิดเป็นสารกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระซึ่งสามารถก่อให้เกิดสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนได้เช่นเดียวกับปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันก็ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนเช่นกัน (อรอนงค์, 2547)

2.1.2 คุณสมบัติของข้าวและแป้งข้าว

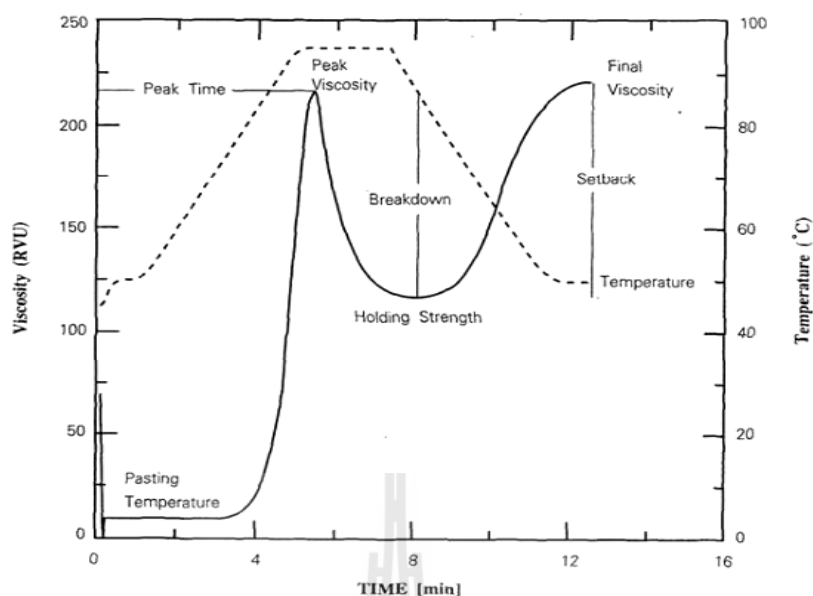
2.1.2.1 การพองตัวและการละลาย (swelling and solubility)

โดยปกติเมื่อเติมน้ำลงในแป้งดิบแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิตีในซ์ แต่จะสามารถดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวได้เล็กน้อยเนื่องจากโมเลกุลของน้ำและสตาร์ที่อยู่ใกล้ ๆ กันจะจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งการพองตัวแบบนี้เป็นการพองตัวที่ผันกลับได้ ส่วนการพองตัวของเมล็ดสตาร์ที่เกิดจากการเจลลิตีในเซชันนั้น อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิเจลลิตีในซ์จะทำให้พันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างผลึกของเมล็ดสตาร์ถูก

ทำลาย โมเลกุลของน้ำก็จะเข้าไปแทนที่โดยการจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ ทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว งานวิจัยของ Noosuk et al. (2003) ที่ทำการศึกษาการก่อกองตัวของแป้งและดัชนีการละลายในข้าวไทยพบว่า สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำมีค่าการก่อกองตัวสูงสุดที่ร้อยละ 33.54-34.92 และมีค่าดัชนีการละลายต่ำสุดที่ร้อยละ 6.00-8.50 เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากข้าวชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าการก่อกองตัวของสตาร์ชข้าวเหล่านี้จะลดลงเมื่อปริมาณอะไมโลสมีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ดัชนีการละลายจะมีค่าเพิ่มขึ้น

2.1.2.2 สมบัติทางความหนืด (viscosity/pasting properties)

การศึกษาเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลายน้ำแป้งในขณะที่ได้รับความร้อนจนถึงขั้นตอนการทำให้เย็นสามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือหลายชนิด เช่น เครื่องวัดความหนืดแบบบรุคฟิลด์ (Brookfield viscometer) เครื่องบราเบนเดอร์อะไมโลกราฟ (Brabender amylograph) และเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer: RVA) เป็นต้น เครื่องมือที่นิยมใช้วัดความหนืดของแป้งคือ เครื่อง RVA เพราะใช้ปริมาณตัวอย่างและระยะเวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่าเครื่องมืออื่น อีกทั้งยังสามารถปรับระดับอุณหภูมิทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างรวดเร็ว มีความแม่นยำและยังรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ดีอีกด้วย ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA แสดงได้ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อสารละลายน้ำแป้งได้รับความร้อนและมีการกวนผสมตลอดเวลาจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง เม็ดแป้งจะพองตัวทำให้มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดหรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเป็น 2 RVU นี้เรียกว่า pasting temperature เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นไปอีกความหนืดก็จะเพิ่มสูงขึ้นเพราะเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้นจนถึงจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ สารละลายน้ำแป้งก็จะมีค่าความหนืดสูงสุดเรียกจุดนี้ว่า peak viscosity จากนั้นเม็ดแป้งก็จะแตกสลายออกเนื่องจากแรงเฉือน เมื่อส่วนที่แตกสลายมีมากกว่าส่วนที่พองตัวเพิ่มขึ้น ความหนืดก็จะลดลงจนถึงระดับความหนืดต่ำสุดเรียกว่า trough viscosity ค่าผลต่างระหว่างความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุดเรียกว่า ค่าการสูญเสียความหนืด (breakdown) ซึ่งบ่งบอกถึงความคงทนต่อแรงกวนหลังการหุงต้ม จากนั้นเมื่อระบบลดอุณหภูมิจาก 95 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส ความหนืดของแป้งจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งซึ่งมีความหนืดสุดท้ายเรียกว่า final viscosity การที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอีกครั้งหลังจากลดอุณหภูมิเป็นเพราะมีการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอิสระของสตาร์ชโดยเฉพาะโมเลกุลของอะไมโลสซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กและเป็นเส้นตรงกว่าอะไมโลเพคตินจึงเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่า โมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเข้ามาเกาะกันเองด้วยพันธะไฮโดรเจนและจัดเรียงตัวเป็นร่างแหสามมิติทำให้ได้ลักษณะโครงสร้างใหม่ที่เกิดเป็นเจล (อรอนงค์, 2547) และค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุดเรียกว่า ค่าการคืนตัว (setback) บ่งบอกถึงความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งซึ่งจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer แหล่งที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2546)

2.1.2.3 การเกิดเจลลิตินในเซชัน (gelatinization)

เมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนคลายตัวลงและถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำโดยโมเลกุลของน้ำจะเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระของเม็ดแป้ง เกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้นและเริ่มใสขึ้น อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลลิติน หรือ อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) และเมื่อให้ความร้อนต่อไปโดยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น เม็ดแป้งก็จะพองตัวมากขึ้น จนถึงจุดที่เกิดการพองตัวสูงสุดซึ่งจะให้ความหนืดสูงสุด จากนั้นเม็ดแป้งจะแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะกระจายตัวออกมาจากเม็ดแป้ง ให้ความหนืดของน้ำแป้งลดลง กระบวนการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ของเม็ดแป้งเมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อนเรียกว่า การเกิดเจลลิตินในเซชัน อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตินในเซชันของแป้งจะแตกต่างกันไปในแป้งแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่มี เช่น ปริมาณของโปรตีนและไขมัน สัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน รวมทั้งการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดแป้งและขนาดกับรูปร่างของเม็ดแป้งอีกด้วย การเกิดเจลลิตินในเซชันของแป้งสามารถตรวจสอบได้ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งจะตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานหรือเอนทาลปี (enthalpy; ΔH) ของแป้งเมื่อได้รับความร้อนและโดยทั่วไปจะถือว่าอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีสูงสุดคืออุณหภูมิในการเกิดเจลลิตินในเซชัน ช่วงอุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลลิตินในเซชันของแป้ง

สามารถแสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงภายในโมเลกุลของแป้งได้ โดยแป้งที่ภายในโมเลกุลมีความแข็งแรงมากจะมีค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลลิตในเซชันมากเนื่องจากต้องใช้ปริมาณความร้อนจำนวนมากในการทำให้เม็ดแป้งทั้งหมดเกิดการพองตัว

2.1.2.4 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อปล่อยให้สตาร์ชในน้ำแป้งที่เกิดเจลลิตในเซชันแล้วเย็นตัวลง โมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน โดยเฉพาะโมเลกุลของอะไมโลสจะการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดเป็นร่างแหสามมิติซึ่งเป็นโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก (Whistler and Bemiller, 1999) ทำให้แป้งมีความหนืดคงตัวมากขึ้นและมีลักษณะเป็นเจลเหนียว ชุ่ม และทึบแสง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือ การคืนตัว (setback) (Smith, 1979 อ้างโดย กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) ส่วนโมเลกุลของอะไมโลเพคตินก็สามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้โดยเกิดจากการรวมตัวของกิ่งที่สั้นแต่จะใช้เวลาในการเกิดนานกว่าอะไมโลส (Jane and Royby, 1984) และเมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในโครงสร้างของเจลจะถูกบีบออกมาเรียกว่า การเย็มน้ำ (syneresis) ทำให้โครงสร้างของเจลมีความแน่นมากขึ้น ทั้งนี้การคืนตัวของสตาร์ชขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของแป้ง อุณหภูมิและระยะเวลาในกระบวนการให้ความร้อนและเย็น ปริมาณ และขนาดของอะไมโลสกับอะไมโลเพคติน รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของเม็ดแป้ง (Whistler and Bemiller, 1999; กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

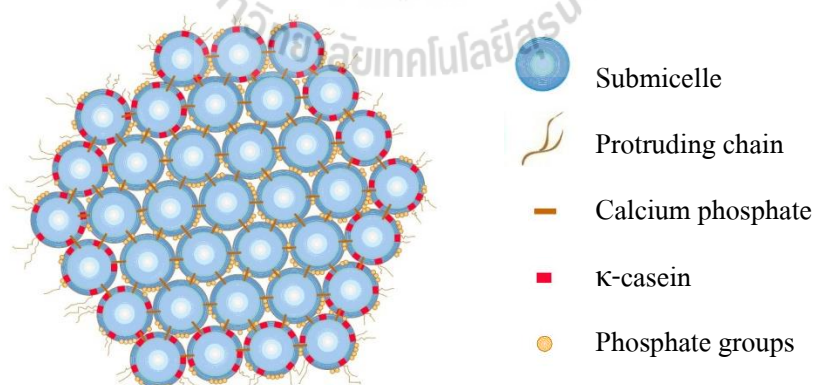
2.2 โปรตีนนม

นํ้านมวัว ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 3.25 โดยโปรตีนที่สำคัญที่พบในนํ้านมมี 2 ชนิด คือ เคซีน (casein) และโปรตีนเวย์ (whey protein) เคซีนเป็นโปรตีนหลักในนํ้านมที่พบประมาณร้อยละ 80 ของโปรตีนนมทั้งหมด สามารถตกตะกอนแยกออกจากนํ้านมได้โดยใช้กรดปรับพีเอชของนํ้านมให้ต่ำลงเป็น พีเอช 4.6 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เมื่อแยกเอาตะกอนเคซีนออกจะมีส่วนของนํ้านมที่เหลืออยู่เรียกว่า เวย์ (whey) และโปรตีนที่ยังเหลืออยู่ในนํ้ามนี้นี้จะเรียกว่า โปรตีนเวย์ ซึ่งมีประมาณร้อยละ 20 ของโปรตีนนมทั้งหมด (นิธิยา, 2545)

เคซีนมีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบจึงจัดเป็นฟอสโฟโปรตีน (phosphoprotein) มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลม (globular particle) มีสีขาวและไม่มีการกลั่นรส โดยปกติเคซีนในนํ้านมจะอยู่ในรูปของไมเซลล์ (micelles) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-15 นาโนเมตร แต่ละไมเซลล์ประกอบด้วยหน่วยย่อยซึ่งเรียกว่า ซับไมเซลล์ (submicell) และแต่ละซับไมเซลล์จะประกอบด้วยเคซีนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แอลฟา-เคซีน (α_1 -casein) แอลฟา-เคซีน (α_2 -casein) เบต้า-เคซีน (β -casein) และแคปปา-เคซีน (κ -casein) ในจำนวนที่แตกต่างกัน (Wong, 1988; Walstra,

Geurts, Nooman, Jellema, and van Boekel, 1999) ซับไมเซลล์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีแคปปา-เคซีน และชนิดที่ไม่มีแคปปา-เคซีน ซับไมเซลล์จะรวมกันเป็นกลุ่มด้วยพันธะไฮโดรโฟบิกและ salt bridge โดยมีแคลเซียมฟอสเฟตเป็นตัวเชื่อม ส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกของโมเลกุลซึ่งก็คือซับไมเซลล์ที่ไม่มีแคปปา-เคซีนจะรวมตัวกันอยู่บริเวณตรงกลางของเคซีนไมเซลล์ ในขณะที่ส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิกหรือซับไมเซลล์ที่มีแคปปา-เคซีนจะโอบล้อมอยู่ภายนอก ส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิกด้านปลายซี (c-terminal) ของแคปปา-เคซีนจะยื่นออกไปด้านนอกผิวของซับไมเซลล์ดังแบบจำลองของเคซีนไมเซลล์ในภาพที่ 2.4 เคซีนไมเซลล์จะยุบรวมตัวกันเมื่อไมเซลล์ถูกปกคลุมด้วยซับไมเซลล์ชนิดที่มีแคปปา-เคซีนเพราะไกลโคเปปไทด์ (glycopeptides) ของแคปปา-เคซีนเป็นส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิก มีลักษณะเป็นสายยื่นออกไปปกคลุมนอกพื้นผิวของไมเซลล์ป้องกันการเชื่อมกันของเคซีนไมเซลล์ด้วยแรงผลักแบบสเตอริก (steric repulsion) ทำให้เคซีนไมเซลล์เกิดความคงตัว (Walstra et al., 1999) ดังนั้นเคซีนไมเซลล์ในน้ำนมจึงมีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำนมตลอดเวลา

โปรตีนเวย์เป็นโปรตีนที่มีลักษณะกลม (globular protein) ประกอบด้วยโปรตีนหลักคือ เบต้า-แลคโตโกลบูลิน (β -lactoglobulin) และแอลฟา-แลคตัลบูมิน (α -lactalbumin) ซึ่งมีประมาณร้อยละ 50 และ 25 ของโปรตีนเวย์ทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเป็นโปรตีนชนิดอื่น ๆ ได้แก่ โบวีนซีรัมอัลบูมิน (bovine serum albumin : BSA) อิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulin) แลคโตเฟอร์ริน (lactoferrin) โปรตีโอสเปปโทน (protease peptone) และเอนไซม์ต่าง ๆ (Swaigood, 1996 อ้างโดย นิธิยา, 2545; Belitz and Grosch, 1999; Walstra et al., 1999)

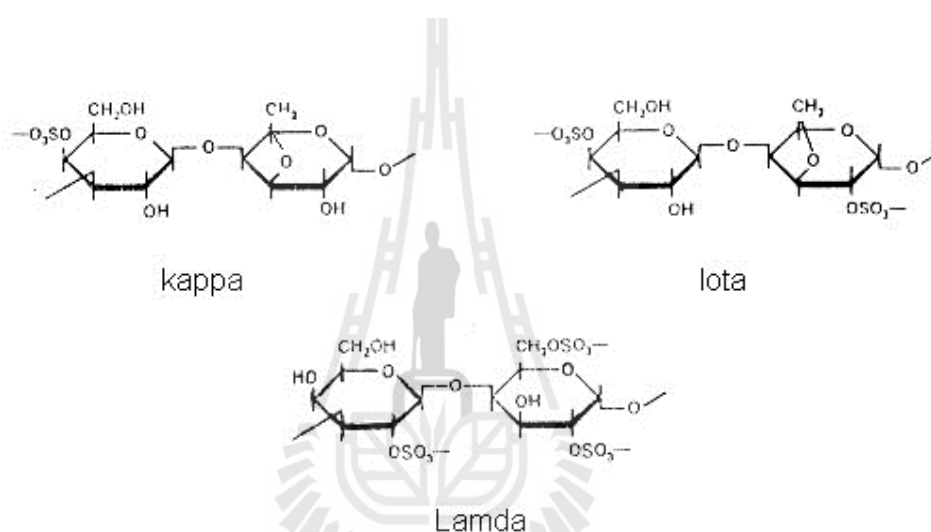


ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของเคซีนไมเซลล์

แหล่งที่มา: Food-Info (2014)

2.3 การารจีแนน

การารจีแนน (carrageenan) เป็นสารประเภทไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง โมเลกุลของการารจีแนนเป็นโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีโครงสร้างหลักเป็นกาแลคโตส (galactose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยหลายชนิดตามจำนวนและตำแหน่งของกลุ่มเอสเทอร์ซัลเฟต (ester sulphate groups) และจำนวนของ 3,6-แอนไฮโดรกาแลคโตส (3,6-anhydrogalactose, 3,6-AG) ได้แก่ แคปปา- (kappa; κ) ไอโอตา- (iota; ι) และแลมบ์ดา- (lambda; λ) การารจีแนน (ภาพที่ 2.5)



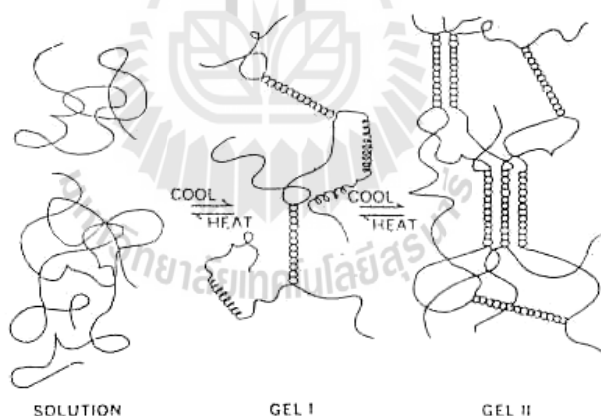
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของการารจีแนนทั้ง 3 ชนิด

แหล่งที่มา: Food Network Solution (2010)

แคปปาคาราจีแนน (κ -carrageenan) ละลายได้ดีในน้ำหรือนมที่ร้อน และละลายได้ในน้ำเชื่อมหรือน้ำเกลือที่ร้อน แต่ความเข้มข้นของน้ำตาลหรือเกลือต้องต่ำกว่าร้อยละ 50 เมื่อสารละลายแคปปาคาราจีแนนเย็นตัวลงจะเกิดเจล (gel) ประเภทที่เปลี่ยนกลับเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน (thermo-reversible gel) ที่มีลักษณะใส เนื้อสัมผัสแน่นแข็งแต่เปราะ เมื่อใส่แคปปาคาราจีแนนลงในนม แร่ระหว่างประจุจะทำให้เคซีนไมเซลล์คงตัวอยู่ได้โดยไม่แยกชั้นออกจากเวย์ เจลจะแข็งแรงขึ้นถ้ามีประจุของโพแทสเซียม (K^+) และจะคงตัวต่อกรดที่พีเอชมากกว่า 3.8 แต่จะไม่ทนต่อการแช่แข็งและการละลาย ไอโอตาคาราจีแนนมีจำนวนกลุ่มซัลเฟตมากกว่าแคปปาคาราจีแนนประมาณร้อยละ 25-50 ทำให้ความไวต่อประจุของโพแทสเซียมลดลง เจลที่ได้จึงมีลักษณะที่อ่อนนุ่มและยืดหยุ่นกว่าเจลของแคปปาคาราจีแนน และทนต่อการแช่แข็งและการละลายได้ดีกว่า

ส่วนแลมบ์ดาคาราจีแนนจะมีกลุ่มของซัลเฟตในตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 6 และไม่เกิดการปิดวงเป็น 3,6-AG จึงมีผลทำให้ไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล

คาราจีแนนที่อยู่ในรูปของสารละลายในน้ำจะมีโครงสร้างเป็นแบบไม่เป็นระเบียบ (random coil) เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงจะเกิดเป็นตาข่ายโพลีเมอร์ 3 มิติ แต่ละสายของโพลีเมอร์จะรวมตัวเข้ามาใกล้กันและเกิดจุดเชื่อมโยงในโครงสร้างเจลแบบที่ 1 (junction point (gel I)) และเมื่อปล่อยให้เย็นลงอีกจะเกิดการเกาะกันของจุดเชื่อมโยงในโครงสร้างเจลแบบที่ 2 (junction point (gel II)) มากขึ้นทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล (ภาพที่ 2.6) เมื่อนำคาราจีแนนไปใช้กับอาหารที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบอย่างเช่นในผลิตภัณฑ์นมที่ใช้คาราจีแนนเป็นสารเพิ่มความคงตัวซึ่งจะช่วยทำให้ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย ช่วยเพิ่มความข้นหนืดและช่วยลดหรือป้องกันการเกิดการแยกเฟสได้โดยเกิดจากหมู่ซัลเฟตในโมเลกุลของคาราจีแนนทำปฏิกิริยากับหมู่ที่มีประจุในโมเลกุลของโปรตีนนม งานวิจัยของ Thaiudom and Goff (2003) และ Spagnuolo et al. (2005) พบว่า แคปลาคาราจีแนนสามารถป้องกันการแยกเฟสของสารละลายผสมระหว่างโปรตีนนมกับโพลีแซคคาไรด์ได้โดยการดูดซับของสายเฮลิคซ์ (helix) ของแคปลาคาราจีแนนบนผิวของเคซีนไมเซลล์และสร้างโครงสร้างตาข่ายของเจล



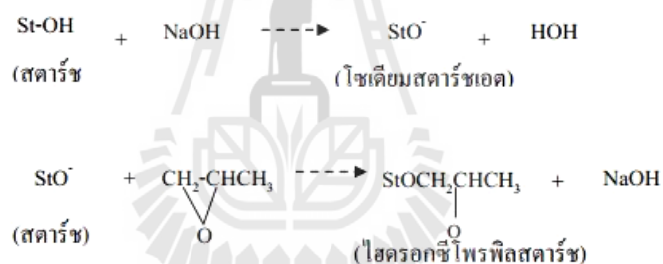
ภาพที่ 2.6 กลไกการเกิดเจลของคาราจีแนน

แหล่งที่มา : Carbohydrate Technology (2011)

2.4 แป้งดัดแปร

แป้งดัดแปร (modified starch) หมายถึง สตาร์ช (starch) ที่ได้จากการนำแป้งดิบ (native starch) มาผ่านกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโดยวิธีทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพ ทำให้แป้งมีสมบัติเปลี่ยนแปลงไปตามที่ต้องการเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ

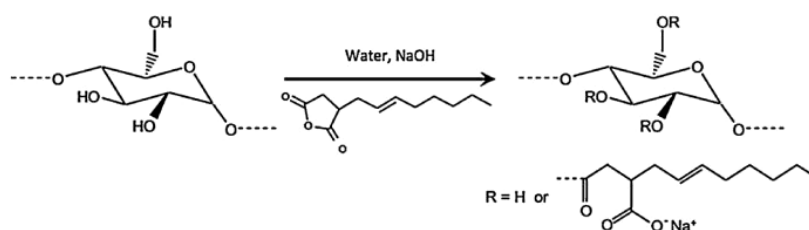
แป้งไฮดรอกซีโพรพิลสตาร์ช (hydroxypropyl starch; HPS) เป็นแป้งอีเทอร์ (ether starch) ในกลุ่มไฮดรอกซีแอลคิลสตาร์ช (hydroxyalkyl starch) หรือแป้งไม่มีประจุ ถูกดัดแปรด้วยกระบวนการทางเคมีโดยปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชัน (etherification) ระหว่างสตาร์ชกับโพรพิลีนออกไซด์ (propylene oxide) โดยทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) ก่อนแล้วจึงทำปฏิกิริยากับโพรพิลีนออกไซด์ (ภาพที่ 2.7) การดำเนินปฏิกิริยาจะทำในสภาวะเบสและเกิดการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลของสายพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยหมู่ไฮดรอกซีโพรพิล (hydroxypropyl) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีคุณสมบัติในการจับกับน้ำ และจะขัดขวางการเกาะจับกันของโมเลกุลสตาร์ชด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชอ่อนแอลง อุณหภูมิการละลายในเซชันลดลง ความหนืดเพิ่มสูงขึ้น การเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง สามารถพองได้ในมากขึ้นและพองตัวได้ในน้ำเย็น สตาร์ชสูงที่ได้มีความคงทนต่อการเก็บรักษาในที่เย็นและคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย (freeze-thaw stability) จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในอาหารที่ต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ คือ อาหารแช่เย็นและอาหารแช่เยือกแข็ง (Tuschhoff, 1986; Singh, Kaur, and McCarthy, 2007)



ภาพที่ 2.7 การเกิดปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชันระหว่างสตาร์ชกับโพรพิลีนออกไซด์ในสภาวะเบส
แหล่งที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกุล (2543)

แป้งออกทานิลซักซินิกแอนไฮไดรด์ (octenyl succinic anhydride starch; OSA) เป็นแป้งประเภทเอสเทอร์ (ester starch) ถูกดัดแปรด้วยกระบวนการทางเคมีโดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ิฟิเคชัน (esterification) ระหว่างสตาร์ชกับออกทานิลซักซินิกแอนไฮไดรด์ (octenyl succinic anhydride) (ภาพที่ 2.8) ทำให้แป้งมีคุณสมบัติทั้งชอบน้ำและไม่ชอบน้ำอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน สามารถนำไปใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืดในอาหารได้โดยจะสร้างพันธะไฮโดรโฟบิกระหว่างโมเลกุลของสายอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติของเจลที่ช่วยให้ระบบมีความหนืดและค่าโมดูลัสสะสมเพิ่มขึ้น (Ortega-Ojeda, Lasson, and Eliasson, 2005) นอกจากนี้เมื่อใส่แป้งดัดแปร OSA ในระบบที่มีโปรตีนนมและคาราจีแนน OSA จะสามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) และอิเล็กโตรสแตติก (electrostatic interaction) กับเคซีนและแคลปาคา-

ราจีแนนได้ (Krstonic, Dokic, and Milanovic, 2011; Sweedman, Tizzotti, Shafer, and Gilbert, 2013) ทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น



ภาพที่ 2.8 การเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างสตาร์ชกับออกทานิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์
แหล่งที่มา: Sweedman et al. (2013)

2.5 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนนมและโพลิแซคคาไรด์

โปรตีนและโพลิแซคคาไรด์ เป็นไบโอโพลิเมอร์ (biopolymers) ที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อควบคุมโครงสร้าง เนื้อสัมผัส และความเสถียรหรือความคงตัวของผลิตภัณฑ์ โดยโมเลกุลของโปรตีนและโพลิแซคคาไรด์จะสามารถดูดหรือผลักรันแล้วทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความซับซ้อน เกิดการแยก หรืออยู่ร่วมกันได้ในระบบ

2.5.1 ประเภทของพันธะและแรงภายในโมเลกุลที่เกิดขึ้นในส่วนผสมระหว่างโปรตีนกับโพลิแซคคาไรด์ (Dickinson, 1998; McClements, 2006)

2.5.1.1 พันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) เป็นพันธะที่แข็งแรงเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเฉพาะบนสารโมเลกุลใหญ่ (macromolecules) ที่แตกต่างกัน ซึ่งพันธะโคเวเลนต์จะเกิดขึ้นในสารผสมของโปรตีนและโพลิแซคคาไรด์ที่มีความซับซ้อน

2.5.1.2 แรงอิเล็กโตรสแตติก (electrostatic force) เป็นแรงที่เกิดปฏิสัมพันธ์ของหน่วยประจุไฟฟ้าซึ่งอาจจะเป็นแรงดึงดูดหรือแรงผลักรันอยู่กับประจุทางไฟฟ้าที่มีลักษณะประจุเหมือนกันหรือตรงข้ามกัน ถ้าระยะห่างระหว่างหน่วยประจุไฟฟ้าสั้นแสดงว่าพันธะเป็นแบบอ่อน แต่ถ้าระยะห่างระหว่างหน่วยประจุไฟฟ้ามีระยะยาวแสดงว่าเป็นพันธะที่มีความแข็งแรง ซึ่งความอ่อนและความแข็งแรงจะขึ้นอยู่กับอัตราการแตกตัวเป็นไอออน (degree of ionization) และความเข้มข้นของประจุ (electrolyte concentration)

2.5.1.3 Excluded volume เป็นแรงผลักระยะสั้นที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างการซ้อนทับของกลุ่มอิเล็กโตรอน

2.5.1.4 พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) เป็นพันธะที่มีความแรงปานกลาง เป็นแรงดึงดูดระยะสั้นของ $-O-H^{\delta+} \cdots \delta^-O < H$ ซึ่งความแข็งแรงของพันธะจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

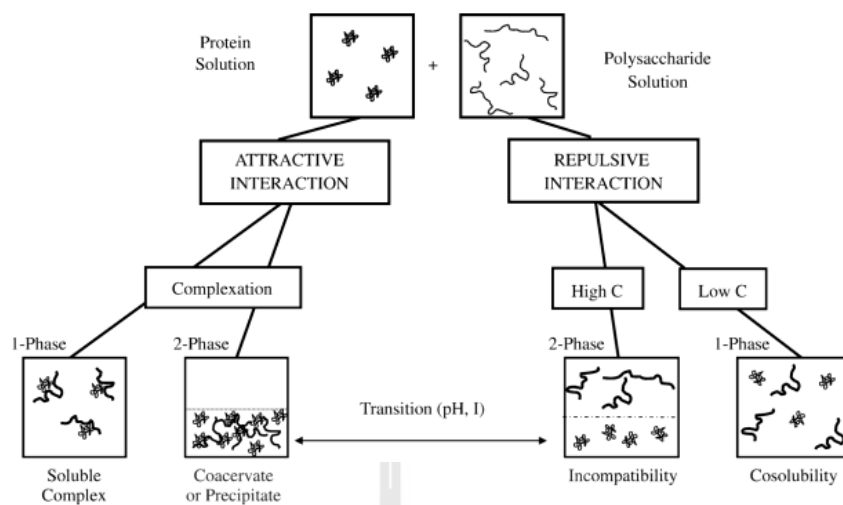
2.5.1.5 แรงไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) เป็นแรงที่มีความแข็งแรงปานกลาง เป็นแรงดึงดูดระยะยาวของกลุ่มของสารที่ไม่มีขั้วซึ่งค่าความแข็งแรงของแรงจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 60 องศาเซลเซียส

2.5.1.6 แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) เป็นแรงดึงดูดแบบอ่อนซึ่งจะพบได้น้อยในปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์

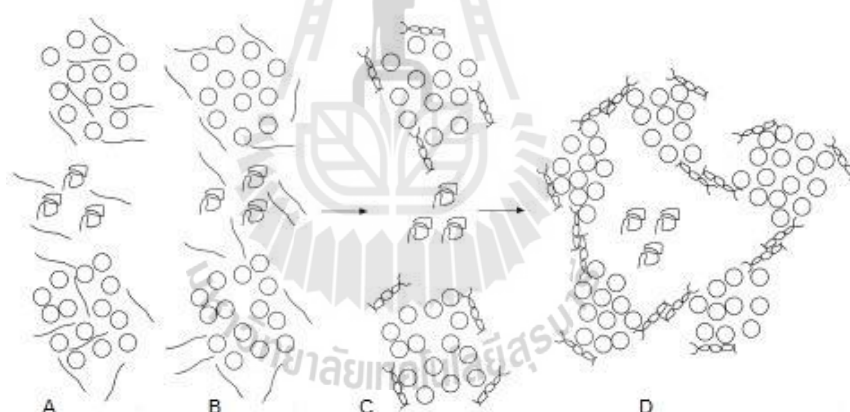
2.5.2 การเกิดปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์

ในสารละลายที่มีโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์อยู่ร่วมกันจะสามารถแบ่งสถานะการอยู่ร่วมกันออกเป็น 3 รูปแบบ (McClements, 2006; Goh, Sarkar, and Singh, 2014) ดังแสดงในภาพที่ 2.10 คือ 1) Complexation เป็นการอยู่ร่วมกันของโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ที่เกิดแรงดึงดูดกันมากกว่าเกิดการผลักกัน ทำให้เกิดการอยู่ร่วมกันได้ 2 แบบ ได้แก่ Soluble complex โปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ที่เกิดแรงดึงดูดกันจะแขวนลอยอยู่ในสารละลายทำให้สารละลายมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันของโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ที่เกิดปฏิสัมพันธ์กัน และ Coacervate โปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ที่เกิดแรงดึงดูดกันจะตกตะกอน (precipitate) ทำให้เกิดการแยกชั้นของสารละลายเป็นสองชั้นที่ชั้นของสารละลายและชั้นของโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ที่เกิดปฏิสัมพันธ์กัน 2) Cosolubility เป็นการอยู่ร่วมกันของโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ที่เกิดปฏิสัมพันธ์กันโดยไม่เกิดการแยกชั้นของสารละลาย สารละลายมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันโดยแรงดึงดูดและแรงผลักของโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์มีความสมดุลกัน 3) Incompatibility หรือการอยู่ร่วมกันแบบการแยกเฟส (phase separation) โมเลกุลของโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์เกิดการผลักกันมากกว่าเกิดแรงดึงดูด ส่งผลให้เกิดการแยกชั้นของโมเลกุลทั้งสอง

งานวิจัยของ Spagnuolo et al. (2005) ที่ทำการศึกษาผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างเคซีนและโพลีแซคคาไรด์ในระบบที่ประกอบด้วยแคปซูลการาจีแนนและ โลคัสบีนกัม พบว่า แคปซูลการาจีแนนที่ระดับความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 0.015-0.02 สามารถป้องกันการแยกเฟสของสารละลายผสมระหว่างโปรตีนนมกับโพลีแซคคาไรด์ได้โดยการดูดซับของสายเฮลิคซ์ของแคปซูลการาจีแนนบนผิวของเคซีนไมเซลล์และสร้างโครงสร้างตาข่ายของเจล (ภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.9 ลักษณะการอยู่ร่วมกันของสารละลายที่มีโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ผสมกัน
แหล่งที่มา: McClements (2006)



ภาพที่ 2.10 กลไกการยับยั้งการแยกเฟสของแคปซูลการจีแนในระบบสารผสมของเคซีนไมเซลล์และโพลีแซคคาไรด์: (A) โครงสร้างของแคปซูลการจีแนอยู่ในรูป coil ที่อุณหภูมิสูงหรือระหว่างกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน; (B) เมื่ออัตราส่วนระหว่างเคซีนไมเซลล์กับแคปซูลการจีแนในรูป coil ไม่สมดุลหรือเกิด depletion flocculation และ/หรือเกิด segregative interaction; (C) โครงสร้างของแคปซูลการจีแนเปลี่ยนจาก coil เป็น helix เมื่อแคปซูลการจีแนถูกทำให้เย็นลง (D) เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างแคปซูลการจีแนที่มีโครงสร้างแบบ double helix กับเคซีนไมเซลล์บริเวณจุดเชื่อมภายในและภายนอก

แหล่งที่มา: Spagnuolo et al. (2005)

2.6 เนื้อสัมผัส (Texture)

เนื้อสัมผัสของอาหารมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการยอมรับคุณภาพอาหารของผู้บริโภคซึ่งเป็นการรับรู้ความรู้สึกทางปาก โดยเริ่มจากการกัดอาหารครั้งแรก (first bite) ความรู้สึกเมื่อเคี้ยว (chewing) และความรู้สึกเมื่อบดอาหารในปาก (mastication) และการรับรู้ความรู้สึกในเนื้อสัมผัสของอาหารนี้เป็นการรับรู้ความรู้สึกทั้งทางกายภาพและทางสรีรวิทยาาร่วมกัน (จินตนา, 2544) ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการใช้เครื่องมือออกเป็น 3 วิธี คือ 1) การวัดค่าพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ (fundamental measurement) จะเกี่ยวข้องกับค่าแรงที่กระทำต่อตัวอย่าง ได้แก่ แรงกด (compression) แรงอัด (extrusion) แรงดึง (tensile) แรงตัด (cutting) และแรงเฉือน (shearing) เป็นต้น แต่ข้อมูลที่ได้จากวิธีการนี้ไม่สามารถนำมาใช้ในการประเมินความรู้สึกด้านเนื้อสัมผัสขณะเคี้ยวได้ 2) การวัดค่าแบบประยุกต์ (empirical measurement) จะได้ค่าที่มีความสัมพันธ์กับการวัดค่าทางประสาทสัมผัสแต่ไม่สามารถอธิบายหลักการของค่าที่วัดได้บนพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และค่าที่วัดได้ก็บอกได้เพียงคุณลักษณะใดคุณลักษณะหนึ่งเท่านั้น ตัวอย่างเครื่องมือเช่น fruit pressure tester, bloom gelometer และ penetrometer เป็นต้น 3) การเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ (imitative measurement) ใช้เครื่องมือที่มีหลักการทำงานคล้ายกับการเคี้ยวของมนุษย์โดยเป็นเครื่องมือที่สามารถหาค่าแรงกับระยะทางหรือความเค้นกับความเครียดได้ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้วัดค่าด้วยวิธีการนี้คือ texture analyzer (Bourne, 1978 อ้างโดย รัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2549)

การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี texture profile analysis เป็นการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสเชิงกล (mechanical) ด้วยการวัดค่าพารามิเตอร์ของเนื้อสัมผัสอาหารที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแรงมากระทำ ค่าเนื้อสัมผัสที่ได้จะมีความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำกับตัวอย่างต่อเวลาโดยผ่านการกดลงบนตัวอย่างของหัววัดจำนวน 2 ครั้ง (ภาพที่ 2.11) ลักษณะเนื้อสัมผัสที่วัดได้จากวิธีนี้มี 7 ลักษณะ โดยมีนิยามดังต่อไปนี้

- ความเปราะหรือความกรอบ (fracturability) คือ แรงกดจุดแรกที่ทำให้ชิ้นอาหารเกิดการแตกหักแต่ไม่แตกออกจากกัน

- ความแข็ง (hardness) คือ แรงที่มีค่ามากที่สุดในช่วงการกดครั้งแรกที่ทำให้ชิ้นอาหารแตกหักหรือแยกออกจากกัน

- ความเกาะติด (cohesiveness) คือ แรงที่ทำให้ชิ้นอาหารสลายตัวก่อนที่จะแตกหรือแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ บ่งบอกถึงความสามารถในการยึดเกาะกันภายในชิ้นอาหาร คำนวณได้จากอัตราส่วนพื้นที่ของแรงที่เป็นบวกในการกดครั้งที่สองต่อครั้งที่หนึ่ง (cohesiveness = $\text{Area2}/\text{Area1}$)

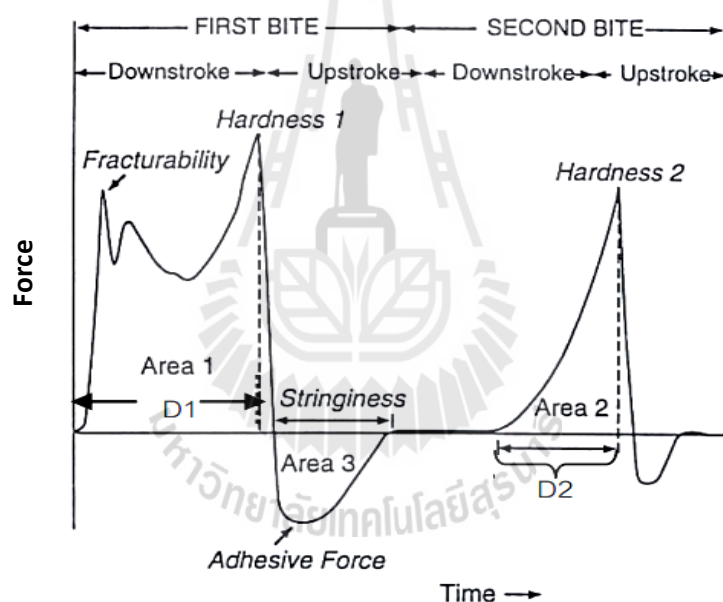
- ความยืดหยุ่น (springiness) คือ ความสามารถของชิ้นอาหารที่จะกลับสู่สภาวะเดิมหรืออัตราส่วนในการคืนรูปของชิ้นอาหารหลังจากฟันกัดชิ้นอาหารแล้วถอนออกจากชิ้นอาหาร

คำนวณได้จากอัตราส่วนของระยะทางหรือความยาวระหว่างการกัดครั้งที่สองต่อครั้งที่หนึ่ง
(springiness = Distance2/Distance1)

- ความเหนียวติดกัน (adhesiveness) คือ แรงที่ใช้แยกชิ้นอาหารที่เหนียวติดออกจากเพดานปากในขณะเคี้ยว

- ความเหนียวติดยึด (gumminess) คือ พลังงานในการเคี้ยวอาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลวหรือแรงที่ใช้ในการทำให้อาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลวแยกตัวออกจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืนได้ คำนวณได้จากผลคูณของ hardness กับ cohesiveness (gumminess = hardness x cohesiveness)

- การเคี้ยว (chewiness) คือ พลังงานในการเคี้ยวอาหารแข็งหรือแรงที่ใช้ในการทำให้อาหารแข็งจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืน คำนวณได้จากผลคูณของ hardness กับ cohesiveness และ springiness (chewiness = hardness x cohesiveness x springiness)



ภาพที่ 2.11 กราฟการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วย texture profile analysis

แหล่งที่มา: Bourne (1978)

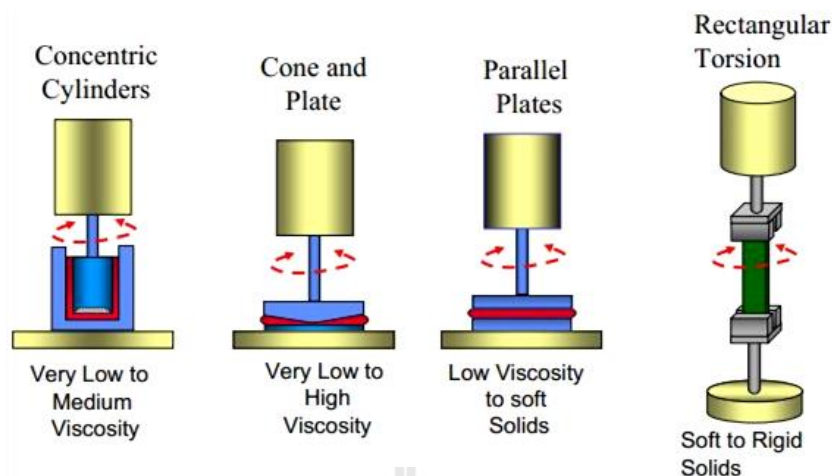
2.7 วิทยากระแส (Rheology)

วิทยากระแส คือ ศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนรูป (deformation) และการไหล (flow) ของวัสดุเมื่อมีแรงกระทำซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงโครงสร้างและพฤติกรรมของวัสดุนั้นๆ สามารถแบ่งวัสดุออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) วัสดุที่มีสมบัติการเป็นของแข็ง (solid) เป็นวัสดุที่มีการเปลี่ยนรูปร่างแปรผันตามแรงกระทำ (force) มีค่าความเค้นแปรผันตรงกับความเร็วและวัสดุสามารถคืน

รูปกลับมาสู่ร่างเดิมได้เมื่อไม่มีแรงมากระทำ 2) วัสดุที่มีสมบัติการเป็นของเหลว (liquid) เป็นวัสดุที่จะเกิดการไหลเมื่อให้แรงกระทำ แต่เมื่อหยุดให้แรงกระทำไม่สามารถคืนกลับสู่รูปเดิม และ 3) วัสดุที่มีสมบัติวิสโคอีลาสติก (viscoelastic) เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างของแข็งกับของเหลวคือมีลักษณะเหนียวหนืด (viscous) เหมือนของเหลวและยืดหยุ่น (elastic) เหมือนของแข็งในเวลาเดียวกัน โดยเมื่อให้แรงกระทำวัสดุจะเปลี่ยนรูปเช่นเดียวกับของเหลวและเมื่อหยุดให้แรงกระทำจะเกิดการคืนรูปเช่นเดียวกับของแข็ง แต่การคืนรูปจะไม่สามารถกลับคืนมาเหมือนเดิมได้

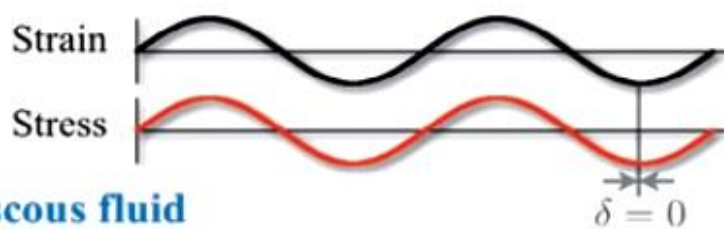
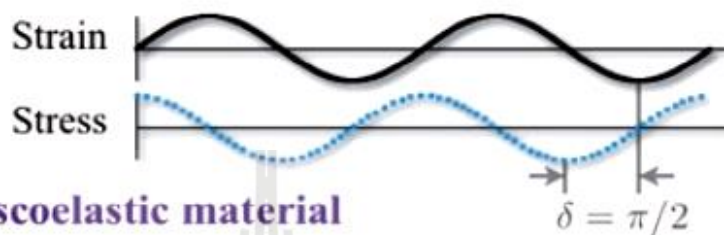
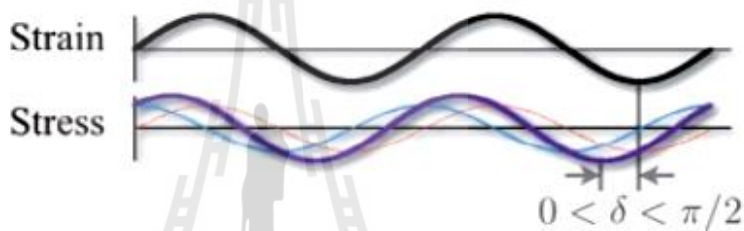
ในการศึกษาโครงสร้างของอาหารที่มีลักษณะเป็นเจลจะศึกษาสมบัติวิสโคอีลาสติกของเจล โดยนิยามวัดค่าโมดูลัสสะสม (storage modulus; G') แสดงถึงการมีสมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุ โดยเมื่อมีแรงมากระทำวัสดุจะสะสมพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปไว้ภายในวัสดุเพื่อที่จะนำมาใช้ในการคืนรูปเดิมเมื่อหยุดให้แรงกระทำ ค่าโมดูลัสสูญเสีย (loss modulus; G'') แสดงถึงการมีสมบัติไหลหนืดของวัสดุ ซึ่งพลังงานจะถูกใช้ในการสร้างและสลายพันธะตลอดเวลาที่เกิดการเปลี่ยนรูปและจะสูญเสียไปไม่คืนสู่รูปเดิม ค่ามุมสัมผัสสูญเสีย (loss tangent; $\tan \delta$) แสดงถึงสัดส่วนของการมีสมบัติไหลหนืดต่อสมบัติยืดหยุ่น ($\tan \delta = G''/G'$) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ $0-\infty$ โดยถ้าค่า $\tan \delta$ น้อยกว่า 1 แสดงว่าวัสดุมีสมบัติการยืดหยุ่นมากกว่าการไหลหนืด และถ้าค่า $\tan \delta$ มากกว่า 1 แสดงว่าวัสดุมีสมบัติการไหลหนืดมากกว่าการยืดหยุ่น (Steffe, 1996)

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติทางวิทยากระแสคือ เครื่องวิทยากระแส (rheometer) ซึ่งมีทั้งแบบที่ควบคุมความเค้น (stress controlled) และควบคุมความเครียด (strain controlled) โดยมีหัววัด (probe) ทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงกระทำต่อตัวอย่าง เช่น concentric cylinder, cone and plate, parallel plate เป็นต้น (ภาพที่ 2.12) การศึกษาคุณสมบัติทางวิทยากระแสสามารถแบ่งตามลักษณะการเสียรูปได้ 2 ประเภท คือ 1) แบบการเสียรูปมาก (large deformation) เป็นการทดสอบที่ให้แรงเป็นปริมาณมากแก่วัสดุเพื่อศึกษาพฤติกรรมและโครงสร้างของวัสดุขณะเกิดการแตกหัก เช่น การทดสอบการคลายความเค้น (stress relaxation test) และ การทดสอบการคืบ (creep test) เป็นต้น วิธีการนี้มีข้อดีคือพฤติกรรมตอบสนองของวัสดุต่อแรงมีลักษณะใกล้เคียงกับสภาวะจริง และข้อเสียคือโครงสร้างของวัสดุจะถูกทำลายในขณะที่ทำการทดสอบ 2) แบบการเสียรูปน้อย (small deformation) เป็นการทดสอบที่ให้แรงปริมาณน้อยแก่วัสดุ โครงสร้างของวัสดุจึงถูกทำลายเพียงเล็กน้อย ในการทดสอบจะนิยามตั้งค่าความเค้นหรือความเครียดที่ให้กับวัสดุคงที่ตลอดการทดสอบ พฤติกรรมตอบสนองของวัสดุจึงมีความสม่ำเสมอ เช่น การทดสอบแบบสั่น (oscillatory test) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในงานวิจัยต่าง ๆ



ภาพที่ 2.12 หัววัดชนิดต่าง ๆ สำหรับเครื่องวิทยากระแส
แหล่งที่มา: อนงคณา (2553)

การทดสอบแบบสั่นเป็นการทดสอบทางพลวัต (dynamic test) โดยวัสดุจะถูกให้ความเค้น (stress) หรือความเครียด (strain) แล้ววัดค่าการตอบสนองที่เกิดขึ้นเป็นความเครียดหรือความเค้น ซึ่งวิธีที่นิยมคือการให้ความเครียดคงที่แล้ววัดการเปลี่ยนแปลงความเค้นไปตามความถี่ของการสั่น โดยเมื่อให้แรงกระทำหรือให้ความเครียดต่อวัสดุแล้ววัดความเค้นที่ตอบสนองในรูปกราฟไซน์ (sine curve) จะพบว่า ถ้าวัสดุนั้นเป็นของแข็ง กราฟรูปไซน์ของความเค้นที่ได้จะทำมุมต่างจากของความเครียด 0 องศา หรือซ้อนทับกันพอดี ถ้าวัสดุนั้นเป็นของเหลวกราฟรูปไซน์ของความเค้นและความเครียดจะเหลื่อมกัน 90 องศา และถ้าวัสดุมีสมบัติวิสโคอีลาสติก ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบสั่นจะทำมุมต่างเฟสกัน โดยมีค่าต่างกันระหว่าง 0-90 องศา (Steffe, 1996; McClemens, 2005) ในการทดสอบแบบ oscillatory จะมีการทดสอบหาช่วงความเครียดหรือความเค้นคงที่ที่เหมาะสมต่อตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองด้วยการทดสอบในรูปแบบของ strain sweep หรือ stress sweep โดยจะให้ความเครียดหรือความเค้นกับตัวอย่างที่ความถี่ต่ำ ๆ คงที่ แล้ววัดการตอบสนองของความเค้นหรือความเครียด จากนั้นเลือกค่าความเครียดหรือความเค้นที่ตัวอย่างมีโมดูลัสสะสมอยู่ในช่วงที่เป็นเส้นตรง (linear viscoelastic region; LVR) ไปทำการทดสอบต่อในรูปแบบของ frequency sweep โดยจะให้ความเครียดหรือความเค้นคงที่ซึ่งได้จาก LVR แล้ววัดการตอบสนองตามช่วงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป การให้ใช้ค่าความเครียดหรือความเค้นที่อยู่ในช่วง LVR มาทดสอบนั้นเป็นเพราะช่วงความเครียดหรือความเค้นดังกล่าวจะไม่ทำให้คุณสมบัติของตัวอย่างถูกกระทบจากการทดสอบ (Sochi, 2010)

Elastic solid**Viscous fluid****Viscoelastic material**

ภาพที่ 2.13 กราฟไซน์ของความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดในวัสดุที่มีสมบัติต่าง ๆ
แหล่งที่มา: Wyss, Larsen, and Weitz (2007)

บทที่ 3

วัสดุและวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ข้าวหอมมะลิใหม่ (Thai jasmine rice) ที่มีอายุหลังจากเก็บเกี่ยวไม่เกิน 1 ปี จากบริษัท ซี.พี. อินเตอร์เทรด จำกัด ประเทศไทย

3.1.2 นมผงขาดมันเนย (skim milk powder; SMP) ปริมาณโปรตีนร้อยละ 36 ความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 5 จากบริษัท วิกี้ เอนเตอร์ไพรส์ จำกัด ประเทศไทย

3.1.3 น้ำตาลทรายขาว (sucrose) จากบริษัท รวมเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ประเทศไทย

3.1.4 แคปป์คาราจีแนน (κ-carrageenan; K) จากบริษัท ไทยฟูดแอนเคมีคอล จำกัด ประเทศไทย

3.1.5 แป้งมันสำปะหลังดัดแปรไฮดรอกซีโพรพิล (hydroxypropyl starch; HPS) จากบริษัท สยาม มอลิฟายด์ สตาร์ช จำกัด ประเทศไทย

3.1.6 แป้งมันสำปะหลังดัดแปรออกเทนิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (octenyl succinic anhydride; OSA) จากบริษัท สยาม มอลิฟายด์ สตาร์ช จำกัด ประเทศไทย

3.1.7 เนยเทียม (margarine) ปริมาณไขมันร้อยละ 83 จากบริษัท ลำสูง จำกัด ประเทศไทย

3.1.8 ไข่ไก่ (egg) จากบริษัท ซีพีเอฟ จำกัด ประเทศไทย

3.1.9 เกลือ (salt) จากบริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด ประเทศไทย

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องบดแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal mill, ZM-1000, Retsch, Haan, Germany)

3.2.2 เครื่องเขย่าอนุภาค (Vibration Sieve Shaker, Analysette 3, Fritsch, Idar-Obenstein, Germany)

3.2.3 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer, T25 basic, IKA, Staufen, Germany)

3.2.4 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge, CR 22G III, Hitachi Koki, Tokyo, Japan)

3.2.5 เครื่องวัดความหนืด (Rapid Visco Analyzer (RVA), Newport Scientific Inc., Warriewood, Australia)

3.2.6 เครื่องวัดสี (Colorimeter, ColorQuest XE, HunterLab, Virginia, USA)

3.2.7 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, TA. XT. Plus, Stable Micro System, Godalming, UK)

3.2.8 เครื่องวัดสมบัติทางวิทยากระแส (Rheometer, AR-G2, TA Instruments, New Castle, USA)

3.2.9 ตู้อบ (Oven, UNE 550, Memmert, Schwabach, Germany)

3.2.10 กล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอล (Confocal laser scanning microscopy: CLSM, Nikon A1r, Nikon Crop., Tokyo, Japan)

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมแป้งข้าวหอมมะลิ

เตรียมแป้งข้าวหอมมะลิโดยการบดข้าวหอมมะลิด้วยเครื่องบดแบบหมุนเหวี่ยง (ZM-100, Retsch, Haan, Germany) แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์เมช 80 (เส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง 180 ไมโครเมตร) จะได้แป้งข้าวหอมมะลิที่มีปริมาณโปรตีนสูง (High protein jasmine rice flour; HPJF) จากนั้นนำแป้งข้าวหอมมะลิส่วนที่ไม่ผ่านรูตะแกรงไปทำเป็นแป้งข้าวหอมมะลิที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ (Low protein jasmine rice flour; LPJF) ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก รุ่งนภา และคณะ (2546) โดยการแช่แป้งข้าวหอมมะลิในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.35 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในอัตราส่วน 1 : 5 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง แล้วจึงล้างแป้งออกด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำล้างมีค่าพีเอช เท่ากับ 7 จากนั้นอบแห้งตะกอนแป้งโดยใช้ตู้อบ (UNE 550, Memmert, Schwabach, Germany) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตะกอนแป้งที่ได้มาบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์เมช 80 อีกครั้งก็จะได้ฟลาวร์ข้าวหอมมะลิที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ

3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิ

นำแป้งข้าวหอมมะลิทั้ง 2 แบบ คือ HPJF และ LPJF ที่เตรียมได้จากข้อที่ 3.3.1 มาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน ความชื้น เถ้า (AOAC., 2005) และปริมาณอะมิโดส (Juliano, 1971)

3.3.3 การศึกษาคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิ

นำแป้งข้าวหอมมะลิทั้ง 2 แบบ คือ HPJF และ LPJF ที่เตรียมได้จากข้อที่ 3.3.1 มาศึกษาคุณสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด (RVA-4, Newport Scientific Inc., Warriewood, Australia) โดยใช้ขั้นตอนมาตรฐาน (หมายเลข 1) จากผู้ผลิต คือ ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นและสุดท้าย เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนและให้ความเย็นเท่ากับ 12 องศาเซลเซียสต่อนาที คงอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 นาที แรงเฉือนเท่ากับ 160 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด 13 นาที บันทึกค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature)

ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) การสูญเสียความหนืด (breakdown) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และการคืนตัว (setback)

3.3.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโปรตีนนมและโพลิแซคคาไรด์จากข้าวหอมมะลิ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโปรตีนนมและโพลิแซคคาไรด์จากข้าวหอมมะลิ ดำเนินการจากวิธีของ Bourriot, Garnier, and Doublier (1999) และ Thaiudom and Goff (2003) เตรียมสารละลายแป้งข้าวหอมมะลิจากแป้งทั้ง 2 แบบ (HPJF และ LPJF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยละลายแป้งข้าวในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ผสมให้เข้ากัน 15 นาที จากนั้นนำสารละลายไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 ถึง 95 องศาเซลเซียส คนสารละลายตลอดเวลา 15 นาที แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนสารละลายโปรตีนนมผงขาดมันเนยเตรียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยละลายโปรตีนนมในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ผสมให้เข้ากัน 15 นาที จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส คนสารละลายตลอดเวลา 15 นาที แล้วนำสารละลายโปรตีนนมผสมกับสารละลายแป้งข้าวข้างต้นในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยให้สารละลายแป้งข้าวหอมมะลิมีความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 0 ถึง 5 โดยน้ำหนัก และสารละลายโปรตีนนมมีความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 0 ถึง 12 โดยน้ำหนัก ปริมาตรโดยรวมเท่ากับ 30 มิลลิลิตร จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ผสมด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (T25 basic, Staufen, UK) ที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที นำส่วนผสมที่ได้ไปต้มที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1100 x g เป็นเวลา 30 นาที สังเกตการแยกชั้นของสารละลายผสม บันทึกผลแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟพลไดอะแกรม

3.3.5 การผลิตพุดดิ้งข้าวหอมมะลิ

พุดดิ้งข้าวหอมมะลิสูตรไข่ (Egg; E) ประกอบด้วย เพสต์ (paste) แป้งข้าวหอมมะลिर้อยละ 29.02 โดยน้ำหนัก สารละลายนมผงขาดมันเนยร้อยละ 56.29 โดยน้ำหนัก ไข่ไก่ 1 ฟองคิดเป็นร้อยละ 5.86 โดยน้ำหนัก น้ำตาลทรายร้อยละ 7.27 โดยน้ำหนัก เกลือร้อยละ 0.09 โดยน้ำหนัก และมาการีนร้อยละ 1.47 โดยน้ำหนัก วิธีการทำคือ นำเพสต์แป้งข้าวหอมมะลิ (แป้งข้าวหอมมะลิผสมกับน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 ถึง 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที) มาผสมกับสารละลายนมผงขาดมันเนย (นมผงขาดมันเนยผสมกับน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 23 โดยน้ำหนัก) ไข่ไก่ น้ำตาลทราย เกลือ และมาการีน นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 ถึง 65 องศาเซลเซียส คนผสมตลอดเวลา 30 นาที จะได้ส่วนผสมที่มีลักษณะเป็นเนื้อครีมข้น ตักใส่ถ้วยพลาสติกขนาด 1 ออนซ์ (เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร) ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อรอการทดสอบต่อไป

ส่วนพุดดิงข้าวหอมมะลิสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่ จะประกอบไปด้วยเพสต์ แป้งข้าวหอมมะลิ สารละลายนมผงขาดมันเนย น้ำตาลทราย เกลือ และมาการีนในสัดส่วนเดียวกัน กับสูตรควบคุม และใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่ โดยใช้แคปซูลการจีแนที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.25 0.50 และ 1.00 โดยน้ำหนัก ผสมกับไฮดรอกซีโพรพิลหรือออกเทนิลซัคซินิไดแอนไฮไดรด์สตาร์ชให้มีปริมาณรวมเท่ากับปริมาณของแป้งในไข่ (ของแป้งในไข่มีค่าเท่ากับร้อยละ 23.02 ของไข่ 1 ฟอง) แล้วทำการผลิตพุดดิงโดยเริ่มจากการนำแป้งข้าวหอมมะลิกับสารเพิ่มความคงตัวผสมมาผสมกันแล้วทำให้เกิดเพสต์ผสมก่อน จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายนมผงขาดมันเนย และส่วนประกอบอื่น ๆ แล้วทำตามขั้นตอนของการผลิตพุดดิงข้าวหอมมะลิสูตรใส่ไข่

ในงานวิจัยนี้จะมีพุดดิงข้าวหอมมะลิที่ต้องทำการทดสอบทั้งหมด 14 สูตร คือ พุดดิงที่ทำจาก HPJF ในสูตรใส่ไข่หรือสูตรควบคุม (E_HPJF) สูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆแทนไข่ (0.25KHPS_HPJF 0.50KHPS_HPJF 1.00KHPS_HPJF 0.25KOSA_HPJF 0.50KOSA_HPJF และ 1.00KOSA_HPJF) และพุดดิงที่ทำจาก LPJF ในสูตรใส่ไข่หรือสูตรควบคุม (E_LPJF) สูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แทนไข่ (0.25KHPS_LPJF 0.50KHPS_LPJF 1.00KHPS_LPJF 0.25KOSA_LPJF 0.50KOSA_LPJF และ 1.00KOSA_LPJF)

3.3.6 การวัดเนื้อสัมผัสพุดดิงข้าวหอมมะลิ

วัดเนื้อสัมผัสพุดดิงข้าวหอมมะลิตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก อิทธิพัทธ์ ธงชัย และเพ็ญขวัญ (2551) และ Nunes, Batista, Raymundo, Alves, and Sousa (2003) โดยนำตัวอย่างพุดดิงมาวัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA. XT. Plus, Stable Micro System, Godalming, UK) ใช้หัวกดแบบ cylinder probe ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความเร็วในการกดตัวอย่าง 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ด้วยระยะทางการกดบนตัวอย่าง 60 เปอร์เซ็นต์ ของความสูงของตัวอย่าง ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ โดยบันทึกค่าความแข็ง (hardness) ความเหนียวยืดติด (gumminess) ความยากง่ายในการเคี้ยว (chewiness) ความสามารถในการเกาะตัว (cohesiveness) ความยืดหยุ่น (springiness) และความเหนียวติดกัน (adhesiveness)

3.3.7 การวัดสีพุดดิงข้าวหอมมะลิ

นำตัวอย่างพุดดิงมาวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสีระบบ CIE (L^* a^* b^*) แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D65 ที่ทำมุมตกกระทบ 10 องศา ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ บันทึกค่า L^* a^* และ b^* โดยที่ค่า L^* เป็นค่าความขาวสว่าง (lightness) ซึ่งมีค่าจาก 0 คือสีดำ ถึง 100 คือสีขาว ค่า a^* ใช้บ่งบอกความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (redness) โดยค่าเป็นบวกจะแสดงถึงความเป็นสีแดงและค่าเป็นลบจะแสดงถึงความเป็นสีเขียว ส่วนค่า b^* ใช้บ่งบอกความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (yellowness) โดยค่าเป็นบวกจะแสดงถึงความเป็นสีเหลืองและค่าเป็นลบจะแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน

3.3.8 การวัดความคงตัวของฟุดคิงข้าวหอมมะลิ

นำตัวอย่างฟุดคิงที่เก็บไว้ในตู้เย็นมาวัดความคงตัว โดยสังเกตการเข้มน้ำแล้ววัดปริมาณน้ำที่เข้มออกมาเทียบกับส่วนที่เป็นเนื้อเพื่อหาสัดส่วนร้อยละของน้ำที่เข้มออกมา ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์

3.3.9 การวัดคุณสมบัติทางวิทยากระแสของฟุดคิงข้าวหอมมะลิ

วัดคุณสมบัติทางวิทยากระแสของฟุดคิงข้าวหอมมะลิตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Alamprese and Mariotti (2011) นำตัวอย่างฟุดคิงมาวัดด้วยเครื่องวัดสมบัติทางวิทยากระแส (AR-G2 Rheometer, TA Instruments, New Castle, USA) ทำการทดสอบแบบสั่น (oscillatory test) โดยใช้หัววัดแบบ parallel plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร ช่องว่างระหว่างตัวอย่างกับหัววัด 1 มิลลิเมตร ควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างที่ 25 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบหาความเครียดที่เหมาะสมด้วยวิธี strain sweep test เพื่อใช้ในการทำนายช่วงวิสโคอีลาสติกเชิงเส้น (linear viscoelastic region : LVR) ของฟุดคิงข้าวหอมมะลิสูตรใส่ไข่ (สูตรมาตรฐาน) กำหนดช่วงความเครียด (strain) 0.01 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และความถี่คงที่ 1 เฮิร์ตซ์ พบว่า LVR มีค่าความเครียดอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงทำการศึกษาค้นสมบัติทางวิทยากระแสของฟุดคิงข้าวหอมมะลิด้วยวิธี frequency sweep test กำหนดช่วงความถี่ 0.01 ถึง 100 เฮิร์ตซ์ และความเครียด 0.1 เปอร์เซ็นต์ วัดค่าโมดูลัสสะสม (storage modulus; G') ค่าโมดูลัสสูญเสีย (loss modulus; G'') และค่ามุมสัมผัสสูญเสีย (loss tangent; $\tan \delta$) ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์

3.3.10 การศึกษาโครงสร้างภายในฟุดคิงข้าวหอมมะลิ

ศึกษาโครงสร้างภายในฟุดคิงข้าวหอมมะลิด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลชนิดที่ใช้เลเซอร์ในการสแกน (confocal laser scanning microscopy; CLSM) (Nikon A1R, Nikon Corp., Tokyo, Japan) ตามวิธีการที่ดัดแปลงจาก Acero-Lopez, Alexander, and Corredig (2010) และ Matignon et al. (2014) ใช้สีย้อม 3 สี ได้แก่ 8-amino-1,3,6-pyrenetrisulfonic acid หรือ APTS (ละลาย APTS ในน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 0.001 โดยมวลต่อปริมาตร) ใช้ย้อมสีแป้งข้าว แสดงผลเป็นสีน้ำเงิน Fluorescein isothiocyanate isomer I หรือ FITC (ละลาย FITC ในอะซิโตนให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 0.001 โดยมวลต่อปริมาตร) ใช้ย้อมสีโปรตีนนม แสดงผลเป็นสีเขียว และ Rhodamine-B-isothiocyanate หรือ RITC (ละลาย RITC ในเมทานอลให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 0.001 โดยมวลต่อปริมาตร) ใช้ย้อมสีสารเพิ่มความคงตัวผสม แสดงผลเป็นสีแดง ส่วนตัวอย่างที่ต้องเตรียมมี 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ 1) paste แป้งข้าวหอมมะลิ (HPJF หรือ LPJF) สารละลายนมผงขาดมันเนย และสารเพิ่มความคงตัวผสม (1.00KHPS หรือ 1.00KOSA) เตรียมแยกกันเพื่อศึกษาโครงสร้างภายในของส่วนประกอบก่อนการผสม 2) สารละลายผสมระหว่าง paste แป้งข้าวหอม

มะลิ (HPJF หรือ LPJF) กับสารละลายนมผงขาดมันเนย และสารเพิ่มความคงตัวผสม (KHPS หรือ KOSA) กับสารละลายนมผงขาดมันเนยตามสัดส่วนและวิธีการเตรียมเดียวกันกับในพุดดิงข้าว 3) พุดดิงข้าวหอมมะลิ สูตร 1.00KHPS_HPJF 1.00KHPS_LPJF 1.00KOSA_HPJF และ 1.00KOSA_LPJF จากนั้นเก็บตัวอย่างทั้งหมดไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน ก่อนนำมาศึกษาโครงสร้างภายใน ขั้นตอนการศึกษาโครงสร้างภายในมีดังนี้คือ ตักตัวอย่างลงบนสไลด์และเกลี่ยตัวอย่างเล็กน้อยเพื่อให้ตัวอย่างกระจายเป็นแผ่นบาง ๆ หยดสีย้อมลงไปย้อมส่วนประกอบโดยในตัวอย่างที่มีแป้งข้าวมะลิเป็นส่วนประกอบจะต้องหยดสีย้อมแป้งลงไปก่อนประมาณ 1 นาที หลังจากนั้นจึงหยดสีย้อมส่วนประกอบอื่น ๆ ตามลงไป หรือในตัวอย่างพุดดิงจะต้องหยดสีย้อมแป้งข้าวหอมมะลิก่อน จากนั้นหยดสีย้อมโปรตีนนมและสีย้อมสารเพิ่มความคงตัวผสมตามลำดับ เมื่อหยดสีย้อมลงไปแล้วใช้กระจกปิดสไลด์ปิดทับบนตัวอย่าง นำแผ่นสไลด์นั้นไปสังเกตดูโครงสร้างภายในโดยใช้เลนส์วัตถุ (objective lens) ที่กำลังขยาย 20 หรือ 40 เท่า

3.3.11 การประเมินผลทางประสาทสัมผัสพุดดิงข้าวหอมมะลิ

3.3.11.1 การประเมินความแตกต่าง

ทำการประเมินความแตกต่างของพุดดิงข้าวหอมมะลิโดยเปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ สี กลิ่นรส ความเนียน เนื้อสัมผัส และลักษณะโดยรวมของพุดดิงระหว่างสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่กับสูตรควบคุมของแป้งแต่ละชนิด โดยใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสในระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory panels) จำนวน 30 คน จากนั้นนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรม SPSS เพื่อคัดเลือกพุดดิงที่ทำจาก HPJF และ LPJF อย่างละ 1 สูตรที่มีความใกล้เคียงหรือแตกต่างไปจากสูตรควบคุมน้อยที่สุดมาประเมินผลทางประสาทสัมผัสแบบประเมินการยอมรับต่อไป

3.3.11.2 การประเมินการยอมรับ

นำพุดดิงที่ได้จากการประเมินความแตกต่างว่ามีความใกล้เคียงหรือแตกต่างไปจากสูตรควบคุมน้อยที่สุดมาประเมินผลทางประสาทสัมผัสแบบประเมินการยอมรับด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบในลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ สี กลิ่นรส ความเนียน เนื้อสัมผัส และลักษณะโดยรวมของพุดดิงด้วยผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสในระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 30 คน จากนั้นนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้โปรแกรม SPSS

3.3.12 การศึกษาอายุการเก็บของพุดดิงข้าวหอมมะลิ

นำพุดดิงสูตรที่ผ่านการประเมินการยอมรับมาทำการตรวจคุณภาพทางจุลินทรีย์โดยวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา (FDA BAM, 2001) และ Coliform กับ *E. coli* (3M

Petriefilm) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาพุดdingในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ วิเคราะห์ผลคุณภาพทางจุลินทรีย์แล้วทำนายอายุการเก็บของพุดdingข้าวหอมมะลิ



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติต่าง ๆ ของแป้งข้าวหอมมะลิ

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิ

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิที่มีปริมาณโปรตีนมาก (high protein jasmine rice flour; HPJF) และแป้งข้าวหอมมะลิที่มีปริมาณโปรตีนน้อย (low protein jasmine rice flour; LPJF) แสดงผลดังตารางที่ 4.1 พบว่า HPJF มีปริมาณโปรตีนสูงกว่า LPJF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย HPJF และ LPJF มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.70 และ 3.54 ตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไปข้าวสารจะมีโปรตีนร้อยละ 6-8 (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) แต่ LPJF มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 3.54 แสดงว่ากระบวนการสกัดเอาโปรตีนออกจากแป้งที่ใช้มีประสิทธิภาพที่จะลดปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวนี้ได้ ส่วนปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวพบว่า LPJF มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า HPJF อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย HPJF และ LPJF มีปริมาณอะไมโลส ร้อยละ 17.07 และ 19.23 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับปริมาณอะไมโลสที่พบในแป้งข้าวหอมมะลิมีก่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15-19 (รุ่งนภา และคณะ, 2546) ปริมาณโปรตีนในข้าวนี้จะมีผลต่อปริมาณอะไมโลส โดยถ้าข้าวมีปริมาณโปรตีนมาก โปรตีนจะดักจับอะไมโลสเอาไว้ในโปรตีนเมทริกซ์ ส่งผลให้อะไมโลสถูกชะออกมาจากเมล็ดสตาร์ชได้ยากขึ้นหรืออาจเป็นเพราะการเกิดการเชื่อมโยงกันของโปรตีนซึ่งจะกีดขวางการแทรกซึมของน้ำที่จะเข้าไปในเมล็ดสตาร์ช ทำให้เมล็ดสตาร์ชพองตัวไม่เต็มที่ อะไมโลสจึงซึมผ่านออกมาจากเมล็ดสตาร์ชได้น้อย ส่งผลต่อคุณสมบัติทางความหนืดและเนื้อสัมผัสของแป้งข้าว (Hamaker and Griffin, 1993; and Wongdechsaarekul and Kongkiattikajorn, 2009) ดังนั้นโปรตีนใน HPJF ที่มีมากกว่านั้นอาจจะกีดขวางการดูดซับน้ำของเมล็ดสตาร์ช เมล็ดสตาร์ชจึงพองตัวได้ไม่เต็มที่เพราะดูดซับน้ำได้น้อยทำให้อะไมโลสซึมผ่านออกมาจากเมล็ดสตาร์ชได้น้อย ส่งผลให้ปริมาณอะไมโลสที่วัดได้ของ HPJF จึงมีน้อยกว่า LPJF

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของ HPJF และ LPJF

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของน้ำหนักเปียก)	HPJF	LPJF
โปรตีน	7.70±0.05 ^a	3.54±0.04 ^b
ไขมัน	0.69±0.04 ^a	0.13±0.08 ^b
เถ้า	0.42±0.01 ^a	0.16±0.00 ^b
ความชื้น	9.38±0.01 ^a	8.25±0.03 ^b
อะไมโลส	17.07±0.06 ^a	19.23±0.06 ^b

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

4.1.2 คุณสมบัติทางความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิ

การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ HPJF และ LPJF แสดงผลดังตารางที่ 4.2 พบว่า HPJF มีอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) สูงกว่า LPJF เนื่องจากโปรตีนในแป้งข้าวขัดขวางการดูดซับน้ำของเม็ดสตาร์ชโดยเกิดการเชื่อมโยงกันล้อมรอบเม็ดสตาร์ชเอาไว้ (Tamaki et al., 1989a, b) จึงต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าในการทำลายการเชื่อมโยงกันของโปรตีนในแป้งข้าวและทำให้พันธะไฮโดรเจนของโครงสร้างในเม็ดสตาร์ชคลายตัวลง เพื่อที่โมเลกุลของน้ำจะสามารถเข้าไปจับกับโครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ชแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดได้ และการขัดขวางการดูดซับน้ำของเม็ดสตาร์ชโดยโปรตีนนี้จะทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวไม่เต็มที่ ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของ HPJF มีค่าต่ำกว่า LPJF ที่เม็ดสตาร์ชพองตัวได้เต็มที่กว่า ความหนืดสูงสุดจึงมากกว่า ซึ่งการที่โปรตีนเกิดการเชื่อมโยงกันล้อมรอบเม็ดสตาร์ชเอาไว้วันนั้นก็ช่วยรักษาโครงสร้างและขัดขวางการถูกทำลายของเม็ดสตาร์ชในระหว่างการกวนได้ ดังจะเห็นได้จากค่าความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ของ HPJF ที่มีค่ามากกว่า LPJF แสดงว่า HPJF ยังคงความข้นหนืดของสารละลายไว้ได้มากกว่า LPJF และจากการสูญเสียความหนืด (breakdown) ซึ่งหาได้จากผลแตกต่างของความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด บ่งบอกถึงความทนต่อแรงกวนหลังการหุงต้ม จะเห็นว่า HPJF มีค่าการสูญเสียความหนืดต่ำกว่า LPJF นั่นคือ HPJF มีความทนต่อแรงกวนหลังการหุงต้มได้ดีกว่า LPJF

เมื่อลดอุณหภูมิแป้งข้าวจะเกิดการคืนตัวหรือรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) โดยโมเลกุลของสตาร์ชที่อยู่ใกล้เคียงกันเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดเป็นร่างแหสามมิติ ทำให้ได้โครงสร้างใหม่ที่เกิดเป็นเจลและความหนืดคงตัวเพิ่มขึ้น เรียกความหนืดที่เพิ่มขึ้นอีกครั้งนี้ว่า ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) โดยพบว่าค่าความหนืดสุดท้ายของ HPJF มีค่าสูงกว่า LPJF ส่วนค่าการคืนตัว (setback) ซึ่งหาได้จากผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความ

หนีดต่ำสุด บ่งบอกถึงความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของแป้ง พบว่า HPJF มีค่าการคืนตัวสูงกว่านั้นแสดงว่าเกิดรีโทรเกรเดชั่นได้ดีกว่า LPJF โดยทั่วไปแล้วถ้าค่าการคืนตัวสูงจะแสดงถึงการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของแป้งมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการมีปริมาณอะไมโลสที่ซึมผ่านออกมาสูง (Vanderputte et al., 2003; Ottenhof and Farhat, 2004) และจากผลการหาค่าประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิที่พบว่า LPJF มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าก็น่าจะมีค่าการคืนตัวสูงกว่าและเกิดรีโทรเกรเดชั่นได้ดีกว่า HPJF แต่ผลที่ได้กลับไม่เป็นไปตามที่อ้าง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของโปรตีนในแป้งมีผลต่อความหนืดสุดท้ายและการคืนตัวมากกว่าอะไมโลส (รุ่งนภา และคณะ, 2546; Wongdecharekul and Kongkiattakajorn, 2010) โดยโปรตีนจะขัดขวางการดูดซับน้ำของเม็ดสตาร์ช ทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชไม่เต็มที่ อะไมโลสจึงซึมผ่านออกมาจากเม็ดสตาร์ชได้น้อย (Martin and Fitzgerald, 2002; อรอนงค์, 2547; Xie, Chen, Duan, Zhu, and Liao, 2008) การที่เม็ดสตาร์ชพองตัวได้น้อย เม็ดสตาร์ชก็จะแตกน้อย โมเลกุลของสตาร์ชที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงอาจจะเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่ายกว่า (นิธิยา, 2545) เป็นผลให้ HPJF เกิดรีโทรเกรเดชั่นได้ดีกว่า LPJF

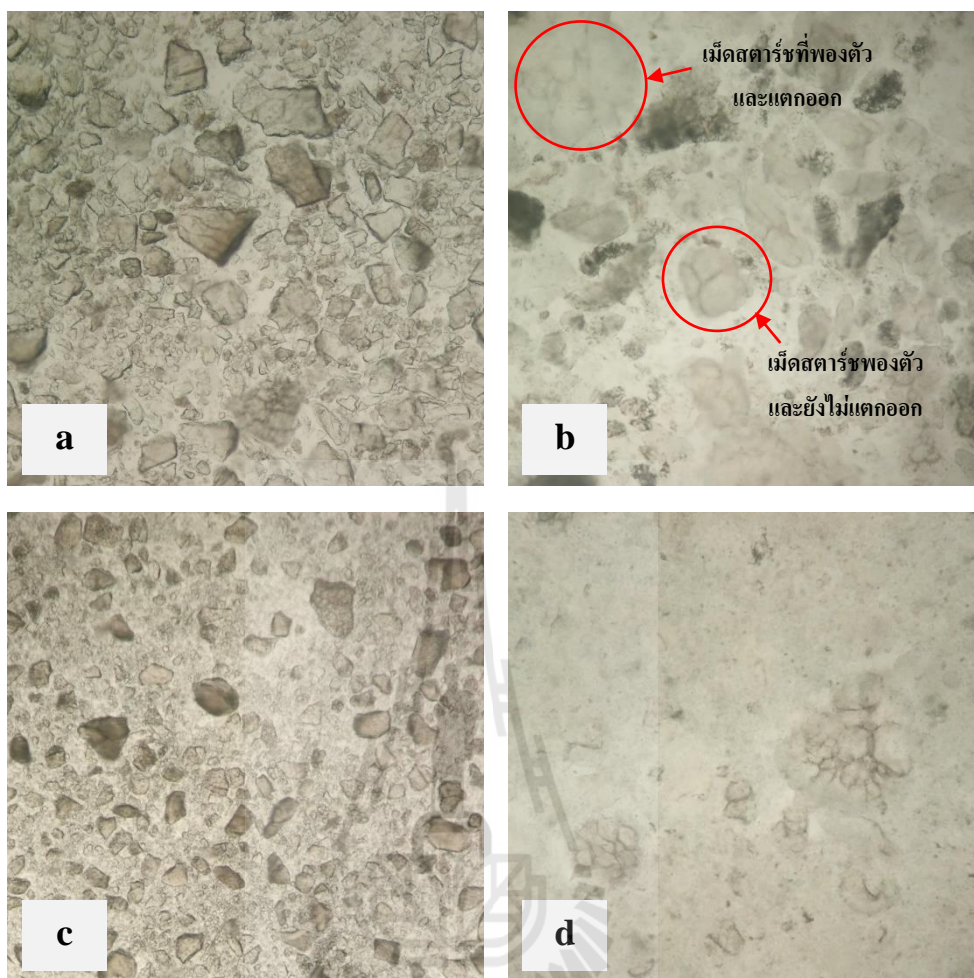
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางความหนืดของ HPJF และ LPJF

Flour	Pasting Temperature (°C)	Peak Viscosity (RVU)	Trough Viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final Viscosity (RVU)	Setback (RVU)
HPJF	84.03 ^a	99.17 ^a	74.71 ^a	24.46 ^a	147.50 ^a	72.79 ^a
LPJF	73.50 ^a	129.63 ^b	39.75 ^b	89.88 ^b	73.30 ^b	33.54 ^b

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำสารละลายแป้งข้าวหอมมะลิทั้งสองชนิดไปส่องดูลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชก่อนต้มและหลังต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที (ภาพที่ 4.1) พบว่า LPJF (ภาพที่ 4.1c) ที่ผ่านการแช่ในสารละลายด่างเพื่อสกัดเอาโปรตีนออกและผ่านการบดอีกครั้งหลังอบแห้งมีขนาดเม็ดสตาร์ชโดยส่วนใหญ่เล็กกว่า HPJF (ภาพที่ 4.1a) เล็กน้อย และเมื่อนำสารละลายแป้งข้าวไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที พบว่า เม็ดสตาร์ชของ LPJF เกิดการพองตัวและแตกออกทั้งหมด (ภาพที่ 4.1d) ในขณะที่เม็ดสตาร์ชของ HPJF เกิดการพองตัวและมีการแตกของเม็ดสตาร์ชที่พองตัวแล้วเล็กน้อย (ภาพที่ 4.1b) ซึ่งสามารถบอกได้ว่าการแช่ข้าวในน้ำหรือสารละลายกรด-ด่าง และการบดข้าวหลายครั้งส่งผลให้เม็ดสตาร์ชที่ได้มีขนาดเล็กลงเล็กน้อย

(สุกฤษฎา, นิรมล และยุทธนา, 2553; Chatakanonda, Wansuksri, and Sriroth, 2011) และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางความหนืดโดยการแช่แข็งข้าวในสารละลายเบสมีผลให้เมล็ดสตาร์ชเกิดการอ่อนตัวและมีความแข็งแรงน้อยลง เม็ดสตาร์ชจึงสามารถดูดซับน้ำและพองตัวในระหว่างการหุงต้มได้ง่ายขึ้น อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันจึงลดลง (Uzogara, Morton, and Daniel, 1988; สุทธิญา และปริศนา, 2553; กมลรัตน์, สุกัญญา, กัญญารัตน์ และสงวนศรี, 2555) จะเห็นว่านอกจากปริมาณโปรตีนที่มีผลต่อการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดแล้ว การแช่แข็งข้าวในสารละลายต่างเพื่อสกัดโปรตีนออกและการบดแช่แข็งข้าวหลังอบแห้งอีกครั้งก็มีผลต่อการพองตัวของเม็ดสตาร์ชและคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดเช่นกัน โดย HPJF ที่มีปริมาณโปรตีนข้าวมากและผ่านการบดเพียงหนึ่งครั้ง เม็ดสตาร์ชของ HPJF จะมีขนาดใหญ่และมีความแข็งแรงอันเนื่องมาจากโปรตีนและการที่ผิวของสตาร์ชยังสมบูรณ์กว่า จึงทำให้เม็ดสตาร์ชดูดซับน้ำได้น้อยและพองตัวได้ไม่เต็มที่ แตกต่างจาก LPJF ที่ถูกสกัดโปรตีนออกไปจำนวนหนึ่งด้วยสารละลายต่างซึ่งจะทำให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชบางส่วนถูกทำลายและความเป็นผลึกลดลง (Li, Shoemaker, Ma, Lou, and Zhong, 2009; Cardoso, Putaux, Samios, and Silveira, 2007) อีกทั้งการยังถูกบดสองครั้งจึงทำให้ผิวเม็ดสตาร์ชถูกทำลายเพิ่มมากขึ้น เม็ดสตาร์ชของ LPJF จึงสามารถดูดซับน้ำและพองตัวได้ดีกว่า ส่งผลให้คุณสมบัติทางความหนืดของ LPJF แตกต่างจากของ HPJF ซึ่งจากภาพที่ 4.1c และ d เมื่อต้มสารละลายแช่แข็งข้าวทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จะเห็นว่าเม็ดสตาร์ชของ LPJF พองตัวได้มากกว่าและแตกออกเร็วกว่าเม็ดสตาร์ชของ HPJF การที่เม็ดสตาร์ชของ LPJF พองตัวได้มากกว่านี้ก็ตรงกับค่าความหนืดสูงสุดของ LPJF ที่มีค่ามากกว่าของ HPJF และการที่เม็ดสตาร์ชของ LPJF แตกออกได้เร็วกว่าและมากกว่าเม็ดสตาร์ชของ HPJF ที่ต้มในระยะเวลาเท่ากันนั้นก็ตรงกับค่าความหนืดต่ำสุดที่ของ LPJF มีค่าความหนืดต่ำสุดน้อยกว่าของ HPJF อีกทั้งค่าความหนืดสุดท้ายของ LPJF ก็ยังต่ำกว่าของ HPJF ทั้งนี้จะเป็นเพราะโครงสร้างบางส่วนของเม็ดสตาร์ชใน LPJF ถูกทำลายไปเมื่อมีการจัดเรียงตัวกันใหม่จึงเกิดเป็นโครงร่างแหสามมิติที่แข็งแรงน้อยกว่า (สุทธิญา และปริศนา, 2553) จึงสามารถสรุปได้ว่าทั้งปริมาณโปรตีนในแช่แข็งข้าว กระบวนการสกัดโปรตีนและการบดแช่แข็งข้าวหลายครั้งอาจจะมีผลต่อคุณสมบัติทางความหนืดและคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากแช่แข็งข้าวได้



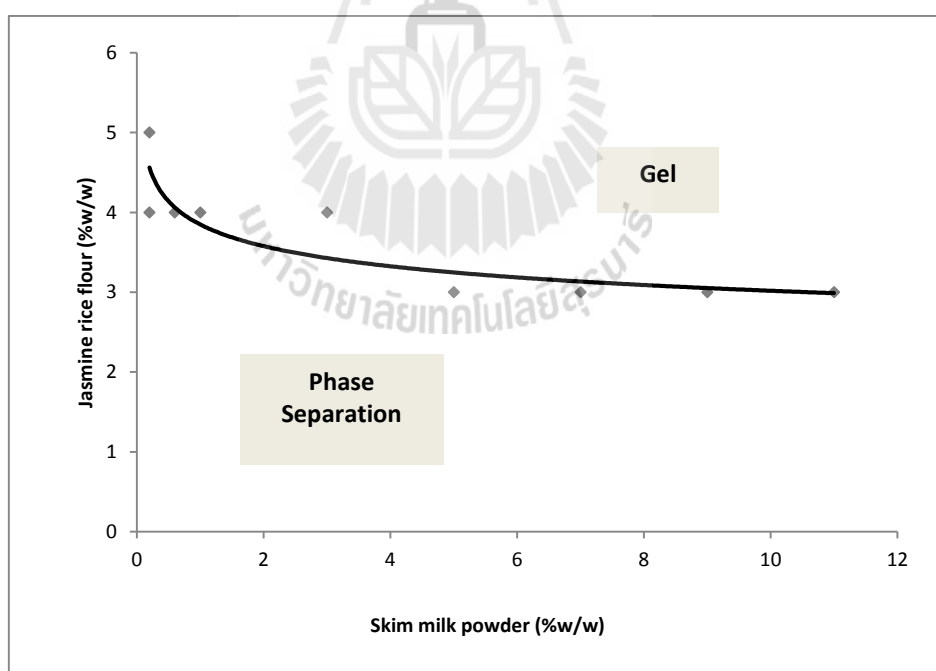
ภาพที่ 4.1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ของสารละลาย HPJF ก่อนต้ม (a); สารละลาย HPJF หลังต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 3 นาที (b); สารละลาย LPJF ก่อนต้ม (c) และสารละลาย LPJF หลังต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 3 นาที (d)

4.1.3 ปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนมและแป้งข้าวหอมมะลิ

ปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนมและแป้งข้าวหอมมะลิเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องศึกษาเพราะโปรตีนนมเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญไม่น้อยไปกว่าแป้งข้าวหอมมะลิที่ได้ศึกษาคุณสมบัติทางความหนืดไปแล้วในข้างต้น ผลจากการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนมและแป้งข้าวหอมมะลิในรูปของเฟสไดอะแกรมพบว่า HPJF และ LPJF ไม่สามารถรวมตัวเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันกับโปรตีนนม SMP ได้ เกิดการแยกเฟสของสารละลายผสมแม้จะเป็นการผสมที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากเกิด depletion-flocculation ของเคซีนไมเซลล์ที่อยู่ใน SMP กับโพลีแซคคาไรด์ในฟลาวัวร์หรือสตาร์ช ซึ่งการเกิด depletion-flocculation นี้เป็นเหตุการณ์ปกติที่มักจะเกิดขึ้นในระบบของสารละลายผสมของโพลีแซคคาไรด์และโปรตีนนม (Thaiudom and Goff, 2003; McClement 2005;

Noisuwan, Bronlund, Wilkinson, and Hemar, 2008; Noisuwan, Hemar, Wilkinson, and Bronlund, 2009; Chappellaz, Alexander, and Corredig, 2010)

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ HPJF และ LPJF ในขณะที่ความเข้มข้นของโปรตีนนมที่พบว่า สารละลายมีความข้นเหนียวขึ้นและมีลักษณะคล้ายเจล และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนนมก็พบว่า LPJF สามารถเกิดเจลกับโปรตีนนม SMP ได้ โดยเกิดที่ความเข้มข้นของ LPJF และโปรตีน SMP ตั้งแต่ร้อยละ 3 และ 5 โดยน้ำหนัก ขึ้นไปตามลำดับ (ภาพที่ 4.2) แตกต่างจากตัวอย่างของ HPJF ที่ยังคงเป็นสารละลายที่มีความข้นเหนียวขึ้นเช่นเดิม ซึ่งเจลหรือสารละลายผสมของ HPJF และ LPJF กับโปรตีนนม SMP ที่ได้จะมีสีเหลืองมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโปรตีนนมเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามเฟสไดอะแกรมของ LPJF กับโปรตีนนม SMP จะมีลักษณะกราฟที่แตกต่างจากเฟสไดอะแกรมของโพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ กับโปรตีนนม คือ จะไม่มีส่วนของพื้นที่ที่เกิดการเข้ากันได้ (compatible หรือ miscible area) แต่จะได้พื้นที่ที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่เข้ากันไม่ได้ (incompatible หรือ phase separation area) และส่วนที่มีลักษณะเป็นเจล (สีเข้ม และ รุ่งนภา, 2554)



ภาพที่ 4.2 เฟสไดอะแกรมของ LPJF กับโปรตีนนม SMP

จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิที่พบว่า HPJF เกิดรีโทร-เกรเดชั่นได้ดีกว่า LPJF ซึ่งก็น่าจะเกิดเจลกับโปรตีนนม SMP ได้ดีกว่า แต่ผลที่ได้จากเฟสไดอะแกรมกลับพบว่า LPJF สามารถเกิดเจลกับโปรตีนนม SMP ได้ดีกว่า HPJF ซึ่งก็สามารถยืนยันได้ว่าปริมาณโปรตีนข้าวที่พบมากใน HPJF มีอิทธิพลต่อการจับกันหรือเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชกับโปรตีนนม แตกต่างจาก LPJF ที่มีปริมาณโปรตีนข้าวน้อยกว่า โมเลกุลของสตาร์ชจึงจับหรือทำปฏิกิริยากับโปรตีนนมเกิดเป็นเจลได้ดีกว่า อีกทั้งอิทธิพลจากกระบวนการสกัดโปรตีนข้าวและการบดแป้งข้าวหลายครั้งก็มีผลทำให้เม็ดสตาร์ชของ LPJF มีขนาดเล็กลง โครงสร้างและผิวของเม็ดสตาร์ชถูกทำลายไปบางส่วน ซึ่งจะส่งผลให้ LPJF สามารถดูดซับน้ำได้ง่ายกว่า พองตัวได้มากกว่า อะไมโลสซึมผ่านออกมาได้มากจึงเกิดเป็นโครงสร้างเจลกับโปรตีนนมได้ดีกว่า HPJF โดยเจลของ LPJF กับ SMP ที่เกิดขึ้นนี้อาจจะเกิดจากการที่กลุ่มของเคซีนถูกกักอยู่ในโครงสร้างร่างแหสามมิติของเม็ดแป้งเมื่อสารละลายผสมถูกทำให้เย็นลง (Noisuwan et al., 2009) ซึ่งการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างสตาร์ชและโปรตีนนมนี้จะมีผลต่อคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสและวิทยากระแสนของผลิตภัณฑ์ (Alamprese and Mariotti, 2011; Considine et al., 2011)

4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและวิทยากระแสนของพุดดิ้งข้าวหอมมะลิ

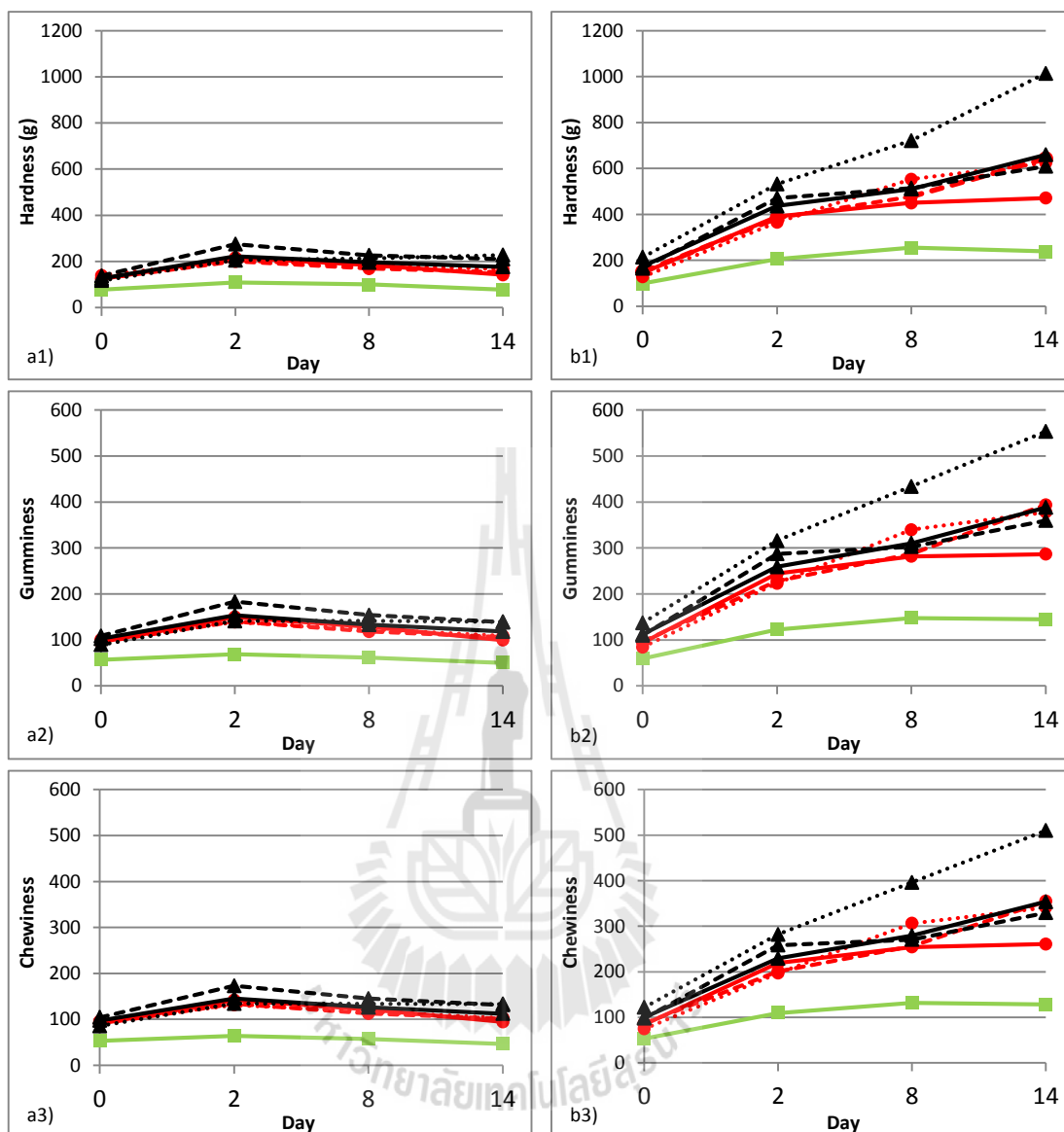
4.2.1 คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของพุดดิ้งข้าวหอมมะลิ

การวัดคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF หรือ LPJF ในสูตรใส่ไข่ (สูตรควบคุม) และสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมที่ความเข้มข้นแตกต่างกันแทนไข่เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ แสดงผลได้ดังภาพที่ 4.3 และ 4.4 ในการเปรียบเทียบพุดดิ้งทุกสูตรเมื่อศึกษาอิทธิพลของแป้งข้าวหอมมะลิที่ต่างกันพบว่า ค่า hardness, gumminess และ chewiness ของพุดดิ้งที่ทำจาก LPJF (ภาพที่ 4.3 : b1, b2 และ b3) มีค่าสูงกว่าพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (ภาพที่ 4.3 : a1, a2 และ a3) และมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าเหล่านี้ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF มีค่าเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 ถึงวันที่ 2 หลังจากนั้นค่าจะลดลงเรื่อย ๆ ส่วนค่า springiness ค่า cohesiveness และ ค่า adhesiveness ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (ภาพที่ 4.4 : a1, a2 และ a3) มีค่าสูงกว่าพุดดิ้งที่ทำจาก LPJF (ภาพที่ 4.4 : b1, b2 และ b3) ตลอดระยะเวลาการเก็บ ซึ่งจะเห็นว่าพุดดิ้งที่ทำจาก LPJF จะมีเนื้อสัมผัสแน่นแข็งและความคงตัวกว่าพุดดิ้ง HPJF เนื่องจากโมเลกุลของสตาร์ชใน LPJF สามารถเกิดเจลกับโปรตีนนม SMP ได้ดีกว่าดังผลจากเฟสไดอะแกรมในข้างต้น เจลของแป้งข้าวโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยเม็ดสตาร์ชที่ถูกเจลาทิไนซ์และโมเลกุลภายในของสตาร์ชอย่างอะไมโลสที่ซึมผ่านออกมาจากเม็ดสตาร์ชในระหว่างการเจลาทิไนซ์รวมตัวกันเกิดเป็นร่างแหสามมิติเมื่อสตาร์ชเพสต์ถูกทำให้เย็นลง (Miles, Morriss, and Ring, 1985; Ring, 1985; Morris, 1990) และเมื่อทำการผสมแป้งข้าวกับโปรตีนนม SMP เจลที่ได้นั้นนอกจากจะเกิดจากการรวมตัวกัน

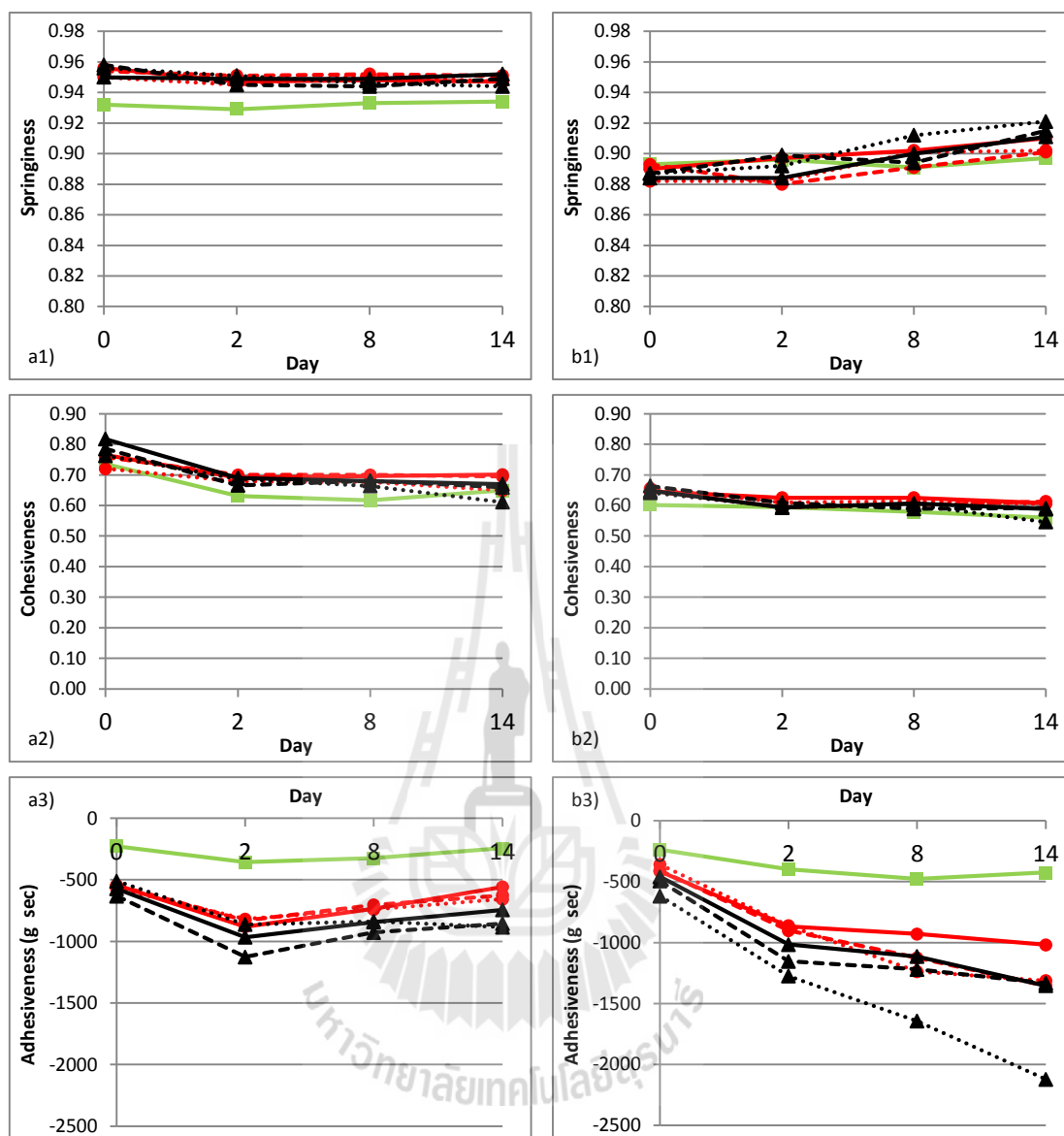
ของอะไมโลสเป็นโครงร่างของเจลแล้วเคซีนจากโปรตีนนม SMP ก็ยังถูกกักอยู่ภายในโครงสร้างเจlnั้นอีกด้วย (Noisuwan et al., 2009) ส่งผลให้เจลมีความแข็งและคงตัวมากขึ้น นอกจากนี้การที่ค่า hardness gumminess และ chewiness ของพุดดิ้ง LPJF นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้นเป็นเพราะการเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการจัดเรียงตัวใหม่ของโครงสร้างโดยโครงสร้างจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและยึดเหนี่ยวกันมากขึ้น ทำให้โครงสร้างของเจลแน่นขึ้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) ในขณะที่พุดดิ้งที่ทำจาก HPJF ค่า hardness gumminess และ chewiness จะเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 ถึงวันที่ 2 ซึ่งเป็นผลจากการเซตตัวตามปกติของเจล แต่หลังจากนั้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นค่าเหล่านี้จะลดลงเรื่อยๆ ที่ละน้อย อาจเป็นเพราะโครงสร้างของเจลเกิดการคลายตัวอันเนื่องมาจากอะไมโลสที่รวมตัวกันเกิดเป็นโครงร่างแหสามมิติของเจล HPJF นั้นจับกันเองได้น้อยและจับกันไม่แน่นพอหรือจับกันได้ไม่สมบูรณ์เพราะโปรตีนข้าวที่มีมากใน HPJF ขัดขวางการซึมผ่านออกมาของอะไมโลสและอาจจะขัดขวางการจับกันหรือการเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนนมด้วย ดังจะเห็นได้จากผลปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนมกับ HPJF ที่พบว่า HPJF นั้นไม่เกิดเจลกับโปรตีนนมในช่วงของเฟสไดอะแกรมที่ศึกษา ด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงอาจส่งผลให้ค่า hardness gumminess และ chewiness ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF นั้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ หลังจากวันที่ 2 จนถึงวันที่ 14

เมื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดสารเพิ่มความคงตัวผสมที่แตกต่างกันพบว่า การใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่ส่งผลให้พุดดิ้งมีค่า hardness gumminess และ chewiness สูงกว่าพุดดิ้งสูตรควบคุม โดยการแทนที่ไข่ด้วย KOSA จะมีค่าเหล่านี้สูงกว่า KHPS ตลอดระยะเวลาการเก็บ ในขณะที่ค่า springiness และ cohesiveness มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่า adhesiveness ของพุดดิ้งที่ใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมมีค่าต่ำกว่าพุดดิ้งสูตรควบคุมโดยการแทนที่ไข่ด้วย KOSA มีค่าต่ำกว่า KHPS ตลอดระยะเวลาการเก็บ จากผลการทดลองจะเห็นว่า สารเพิ่มความคงตัวผสมที่ใส่ลงไปแทนไข่นั้นช่วยทำให้พุดดิ้งมีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น ดังจะเห็นได้จากการที่ค่า hardness gumminess และ chewiness ของพุดดิ้งสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่นั้นมีค่ามากกว่าของพุดดิ้งสูตรควบคุมและการแทนที่ไข่ด้วย KOSA ก็ส่งผลให้พุดดิ้งมีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า KHPS ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแป้งดัดแปร OSA ทำปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิกและอิเล็กโตรสแตติกกับเคซีนและแคลปาคาราจีแนน (Krstonosic et al., 2011; Sweedman et al., 2013) รวมทั้งแคลปาคาราจีแนนก็ยังเกิดปฏิกิริยากับเคซีนโดยดูดซับอยู่บนผิวของเคซีน (Spagnuolo et al., 2005) และกลุ่มของเคซีนที่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นเหล่านี้ก็จะถูกกักอยู่ในโครงร่างแหสามมิติของเจลสตาร์ชเมื่อสารละลายผสมถูกทำให้เย็นลง (Noisuwan et al., 2009) ทำให้โครงสร้างเจลมีความแข็งแรงมากขึ้นกว่าปกติ ในขณะที่แป้งดัดแปร HPS ไม่เกิดปฏิกิริยากับเคซีนและแคลปาคาราจีแนน มีเพียงแคลปาคาราจีแนนกับเคซีนที่เกิดปฏิกิริยาเองจึงทำให้โครงสร้างเจลอ่อนกว่า แต่แป้งดัดแปร HPS ก็ยังช่วยให้เจลมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Pal, Singhal, and Kullkarni, 2002; Lee and Yoo, 2011)

เมื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารเพิ่มความคงตัวผสมที่ร้อยละ 0.25, 0.50 และ 1.00 โดยน้ำหนักของ KHPS และ KOSA (0.25KHPS 0.50KHPS 1.00KHPS และ 0.25KOSA 0.50KOSA 1.00KOSA ตามลำดับ) พบว่า พุดคิงที่ทำจาก HPJF (ภาพที่ 4.3 : a1, a2 และ a3) เมื่อแทนที่ไขด้วย KHPS ค่า hardness gumminess และ chewiness ของทุกความเข้มข้นจะใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 ถึงวันที่ 2 หลังจากนั้นค่าจะลดลงเรื่อย ๆ ในขณะที่เมื่อแทนที่ไขด้วย KOSA ค่าเหล่านี้ของ 0.25KOSA และ 0.50KOSA จะเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 ถึงวันที่ 2 หลังจากนั้นค่าจะลดลงเรื่อย ๆ แตกต่างจากของ 1.00KOSA ที่ค่าจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บจนมีค่าใกล้เคียงกับ 0.25KOSA และ 0.50KOSA ในวันที่ 14 ส่วนในพุดคิงที่ทำจาก LPJF (ภาพที่ 4.3 : b1, b2 และ b3) เมื่อแทนที่ไขด้วย KHPS หรือ KOSA ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันพบว่า ค่า hardness gumminess และ chewiness จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองจะเห็นว่า แป้งที่ใช้ทำพุดคิงนั้นอาจมีผลต่อเนื้อสัมผัสของพุดคิงมากกว่าสารเพิ่มความคงตัวผสมที่ใส่ลงไป ดังจะเห็นได้จากการที่ใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันลงไป ในพุดคิงทั้งที่ทำจาก HPJF และ LPJF แล้วให้ผลที่แตกต่างกัน โดยที่ในพุดคิงที่ทำจาก HPJF ระดับความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสมที่ใส่นั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของพุดคิงโดยเฉพาะเมื่อใส่ KHPS ค่าเนื้อสัมผัสที่ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการเก็บ แตกต่างจาก KOSA ที่ความเข้มข้น 1.00KOSA จะทำให้เนื้อสัมผัสของพุดคิงเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีกว่า 0.25KOSA และ 0.50KOSA การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นได้เพียงเล็กน้อยในพุดคิงที่ทำจาก HPJF นี้อาจเนื่องมาจากปริมาณโปรตีนข้าวใน HPJF นั้นมีผลต่อการจับกันหรือการเกิดปฏิกิริยาระหว่างส่วนผสมต่าง ๆ ในพุดคิง ทำให้เนื้อสัมผัสของพุดคิงไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสมมากนัก ในขณะที่พุดคิงที่ทำจาก LPJF จะมีเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสมโดยที่ค่าเนื้อสัมผัสจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสมที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะปริมาณโปรตีนข้าวที่มีน้อยใน LPJF รวมทั้งผลจากการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างและการบดแป้งข้าวหลายครั้งทำให้เมล็ดสตาร์ชพองตัวและแตกออกได้ง่าย ส่งผลให้ส่วนผสมต่าง ๆ ในพุดคิงสามารถจับหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลของสตาร์ชได้ง่ายและดีกว่า HPJF



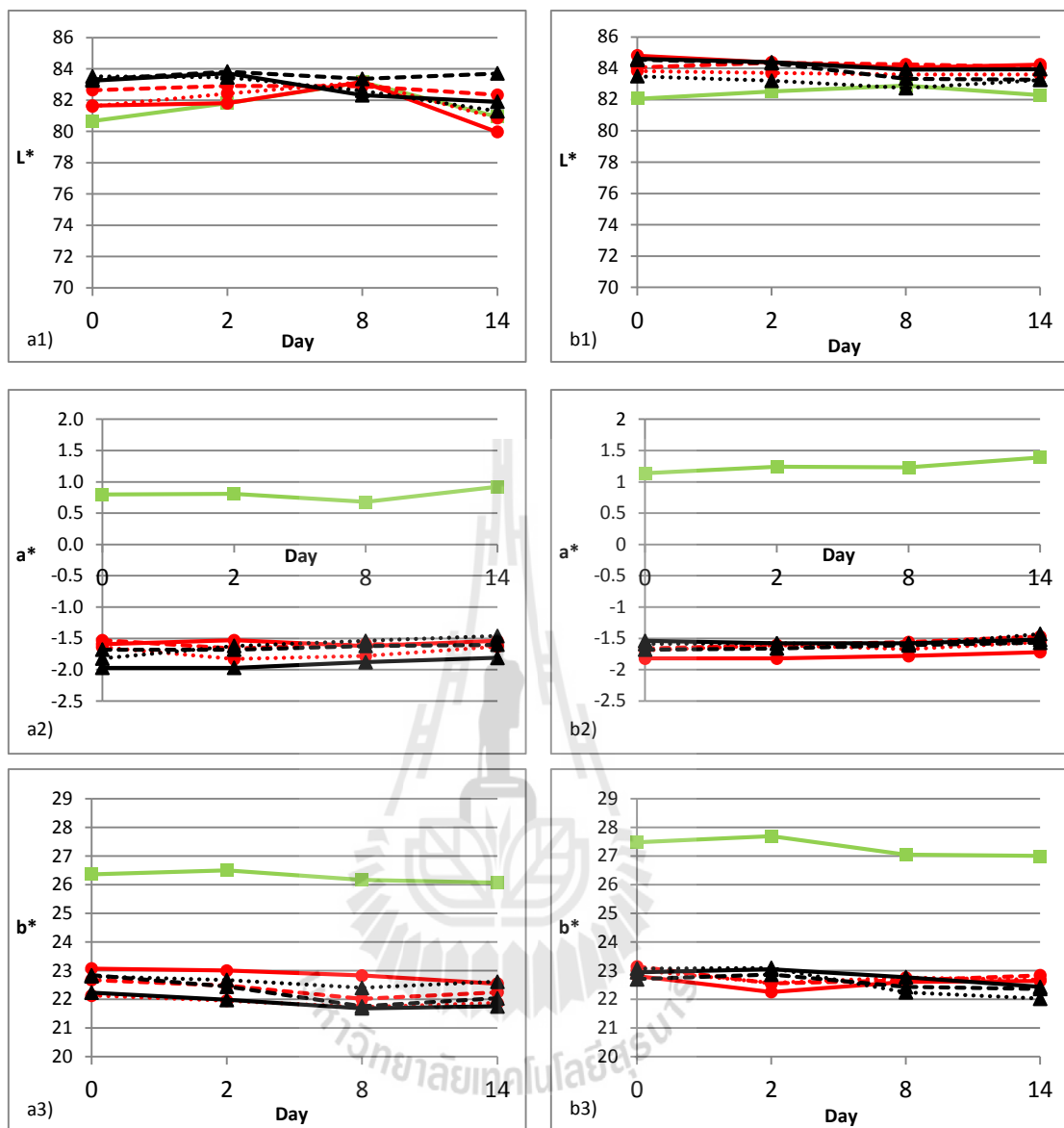
ภาพที่ 4.3 Hardness (a1 b1) Gumminess (a2 b2) และ Chewiness (a3 b3) ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3): egg (—■—) 0.25KHPS (—●—) 0.50KHPS (—●—) 1.00KHPS (—●—) 0.25KOSA (—▲—) 0.50KOSA (—▲—) และ 1.00KOSA (—▲—)



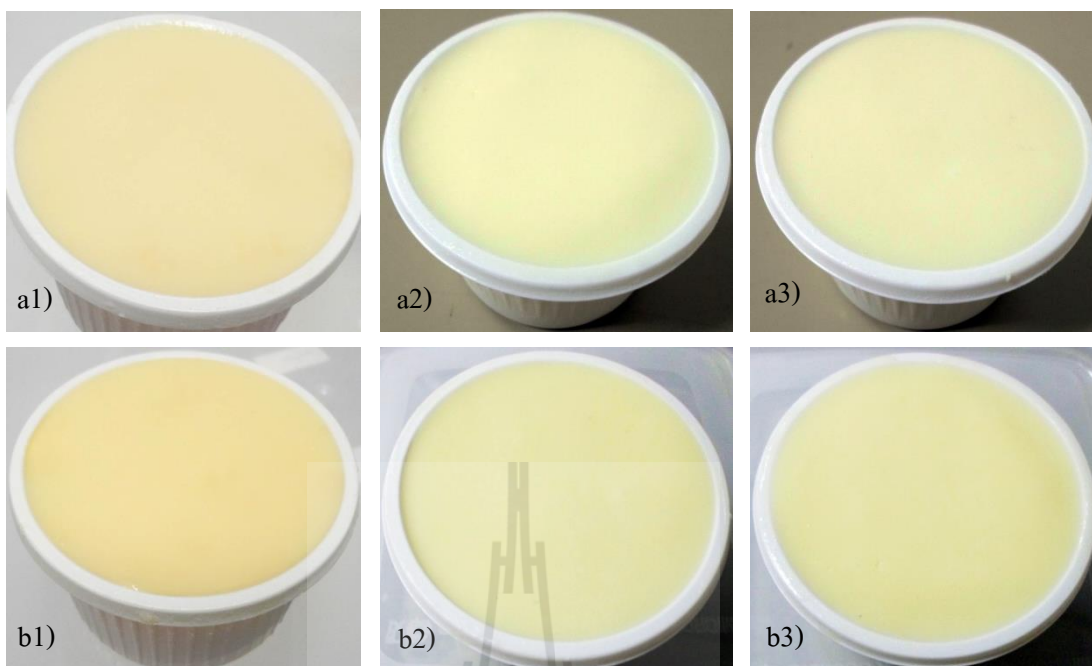
ภาพที่ 4.4 Springiness (a1 b1) Cohesiveness (a2 b2) และ Adhesiveness (a3 B3) ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3): egg (—■—) 0.25KHPS (—●—) 0.50KHPS (—●—) 1.00KHPS (—●—) 0.25KOSA (—●—) 0.50KOSA (—●—) และ 1.00KOSA (—●—)

4.2.2 สีของพุดดิงข้าวหอมมะลิ

การวัดสีของพุดดิงที่ทำจาก HPJF หรือ LPJF ในสูตรใส่ไข่ (สูตรควบคุม) และสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมที่ความเข้มข้นแตกต่างกันแทนไข่เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ แสดงผลได้ดังภาพที่ 4.5 โดยที่ค่า L^* แสดงถึงความสว่างจาก 0 คือ สีดำ ถึง 100 คือ สีขาว ค่า a^* ใช้บ่งบอกความเป็นสีแดงหรือสีเขียวโดยถ้าค่าเป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีแดง และถ้าค่าเป็นลบแสดงถึงความเป็นสีเขียว ส่วนค่า b^* ใช้บ่งบอกความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน โดยถ้าค่าเป็นบวกแสดงถึงความเป็นสีเหลือง และถ้าค่าเป็นลบแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน จากภาพที่ 4.5 จะเห็นว่า ค่า L^* ของพุดดิงทุกสูตรมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 80-85 แสดงว่าพุดดิงมีสีสว่าง ค่า a^* ของพุดดิงสูตรควบคุมมีค่าเป็นบวกเล็กน้อยแตกต่างจากพุดดิงสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่ที่มีค่า a^* เป็นลบเล็กน้อย ส่วนค่า b^* ของพุดดิงทุกสูตรมีค่าเป็นบวกแสดงว่ามีสีเหลือง ซึ่งจากค่า L^* , a^* และ b^* ที่วัดได้นี้สามารถบอกได้ว่าพุดดิงทุกสูตรมีสีเหลืองอ่อนซึ่งสีเหลืองอ่อนที่ได้ของพุดดิงทุกสูตรนั้นอาจจะเป็นสีที่ได้จากสีของนมผงขาดมันเนยที่ใส่ลง แต่พุดดิงสูตรใส่ไข่หรือสูตรควบคุมนั้นจะมีสีเหลืองอ่อนที่เข้มกว่าพุดดิงสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่ (ภาพที่ 4.6) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะไข่แดงในไข่ไก่ที่ใส่ลงไปนั้นช่วยทำให้พุดดิงสูตรใส่ไข่มีสีเหลืองเข้มกว่าสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่ นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่าพุดดิงที่ทำจาก LPJF จะมีค่า L^* , a^* และ b^* สูงกว่าพุดดิงที่ทำจาก HPJF เล็กน้อย และจากผลค่าสีในภาพที่ 4.5 และรูปของพุดดิงในภาพที่ 4.6 ก็จะเห็นว่าพุดดิงที่ทำจาก LPJF นั้นจะมีสีเหลืองอ่อนที่เข้มกว่าพุดดิงที่ทำจาก HPJF เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ LPJF นั้นผ่านการสกัดเอาโปรตีนออกซึ่งในระหว่างการสกัดและการล้างสีและสิ่งปรกต่าง ๆ ในแป้งข้าวก็จะถูกล้างออกไปด้วยทำให้แป้งข้าวที่ได้ของ LPJF มีความขาวกว่า HPJF อีกทั้งเมื่อนำแป้งข้าวไปให้ความร้อนลักษณะของเจลหรือแป้งสุกที่ได้ก็มีความแตกต่างกันโดยเจลของ LPJF จะมีความใสมากกว่าเจลของ HPJF และเมื่อนำเจลแป้งนี้ไปผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อผลิตเป็นพุดดิง เจลที่มีความใสของ LPJF ก็จะทำให้เห็นสีของส่วนผสมอื่น ๆ ได้ชัดกว่าเจลของ HPJF ที่มีความขุ่น



ภาพที่ 4.5 ค่าสีในระบบ CIE (L^* a^* b^*) ของพุตติ้งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3): egg (—■—) 0.25KHPS (—●—) 0.50KHPS (—●—) 1.00KHPS (.....●.....) 0.25KOSA (—▲—) 0.50KOSA (—▲—) และ 1.00KOSA (.....▲.....)

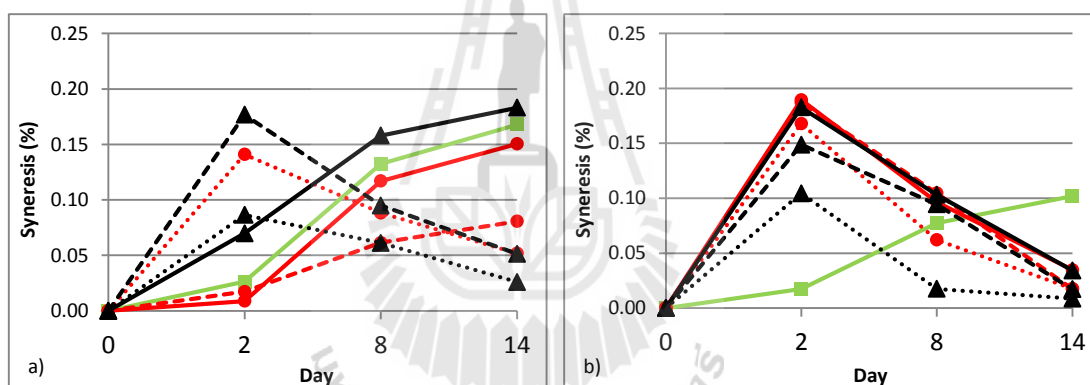


ภาพที่ 4.6 สีของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3) ในสูตรใส่ไข่ (a1 b1) และสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัว KHPS (a2 b2) และ KOSA (a3 b3) แทนไข่

4.2.3 ความคงตัวระหว่างการเก็บรักษาของพุดดิ้งข้าวหอมมะลิ

ความคงตัวของพุดดิ้งประเมินจากการแยกน้ำ (syneresis) เมื่อเก็บไว้ในตู้เย็นเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ แสดงผลได้ดังภาพที่ 4.7 จะเห็นว่าพุดดิ้งที่ทำจาก LPJF ทุกสูตรยกเว้นสูตรใส่ไข่ (สูตรควบคุม) มีค่าลดลงจากวันที่ 2 ถึงวันที่ 14 ในขณะที่พุดดิ้งที่ทำจาก HPJF มีแค่บางสูตรที่การแยกน้ำลดลงนอกนั้นค่าการแยกน้ำเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองจะเห็นว่าพุดดิ้งสูตรใส่ไข่ทั้งที่ทำจาก HPJF หรือ LPJF มีค่าการแยกน้ำเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ ในขณะที่พุดดิ้งสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF มีบางความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสมบางตัวที่ช่วยให้พุดดิ้งมีค่าการแยกน้ำลดลง ส่วนพุดดิ้งที่ทำจาก LPJF ทุกความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสม KHPS หรือ KOSA ช่วยทำให้พุดดิ้งมีค่าการแยกน้ำลดลงทั้งหมด แสดงว่าการใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมลงไปแทนไข่ช่วยให้พุดดิ้งมีค่าการแยกน้ำลดลงหรือมีความคงตัวเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวที่ใส่ลงไป โดยจากภาพที่ 4.7(a) พบว่า สารเพิ่มความคงตัวผสม 1.00KHPS 0.50KOSA และ 1.00KOSA ช่วยทำให้พุดดิ้งที่ทำจาก HPJF มีการแยกน้ำลดลงจากสูตรควบคุมและลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ ส่วนภาพที่ 4.7(b) พบว่าสารเพิ่มความคงตัวผสม KHPS และ KOSA ในทุกความเข้มข้นช่วยให้พุดดิ้งที่ทำจาก LPJF มีการแยกน้ำลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ การที่สารเพิ่มความคง

ตัว KHPS และ KOSA ช่วยให้พุดดิ่งมีการเย็นน้ำลดลงได้อาจเป็นเพราะการเกิดปฏิกิริยาของสารเพิ่มความคงตัวกับแป้งข้าวและโปรตีนนมทำให้โครงสร้างของพุดดิ่งเปลี่ยนแปลงไปจากสูตรควบคุม ดังที่กล่าวไปแล้วในเรื่องของเนื้อสัมผัสคือ แป้งดัดแปร OSA สามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิกและอิเล็กโตรสแตติกกับเคซีนในนมและแคลปาคาราจีแนนได้ รวมทั้งแคลปาคาราจีแนนก็ยังเกิดปฏิกิริยากับเคซีนโดยดูดซับอยู่บนผิวของเคซีน และกลุ่มของเคซีนที่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นเหล่านี้ก็จะถูกกักอยู่ในโครงสร้างร่างแหสามมิติของเจลสตาร์ชเมื่อสารละลายผสมถูกทำให้เย็นลง จึงทำให้โครงสร้างเจลมีความแข็งแรงและคงตัวมากขึ้นกว่าสูตรควบคุม ส่วนแป้งดัดแปร HPS แม้จะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับเคซีนและแคลปาคาราจีแนนได้แต่ก็ยังช่วยให้เจลมีความหนืดเพิ่มขึ้น และยังมีปฏิกิริยาของแคลปาคาราจีแนนกับเคซีนที่เกิดขึ้นจึงทำให้โครงสร้างเจลของพุดดิ่งที่มี KHPS อ่อนกว่าของ KOSA ค่าการเย็นน้ำของพุดดิ่งที่มี KHPS จึงมีค่ามากกว่าของพุดดิ่งที่มี KOSA เป็นส่วนประกอบ



ภาพที่ 4.7 ค่าการเย็นน้ำของพุดดิ่งที่ทำจาก HPJF (a) และ LPJF (b): egg (—■—) 0.25KHPS (—●—) 0.50KHPS (—●—) 1.00KHPS (.....●.....) 0.25KOSA (—▲—) 0.50KOSA (—▲—) และ 1.00KOSA (.....▲.....)

4.2.4 คุณสมบัติทางวิทยากระแสของพุดดิ่งข้าวหอมมะลิ

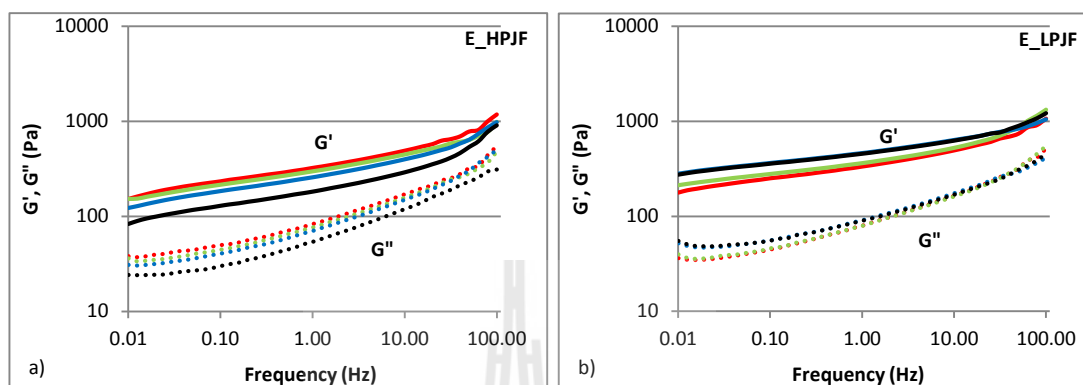
การวัดคุณสมบัติทางวิทยากระแสของพุดดิ่งที่ทำจาก HPJF หรือ LPJF ในสูตรใส่ไข่ (สูตรควบคุม) และสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสม (KHPS และ KOSA) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 0.50 และ 1.00% โดยน้ำหนัก (0.25KHPS 0.50KHPS 1.00KHPS และ 0.25KOSA 0.50KOSA 1.00KOSA ตามลำดับ) แทนไข่เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ พบว่า ตลอดระยะเวลา 2 สัปดาห์ พุดดิ่งทุกสูตรมีค่า G' มากกว่า G'' ในทุก ๆ ความถี่ (ภาพที่ 4.8-4.10) นั่นคือมีสมบัติในการยืดหยุ่น (elastic property หรือ solid-like behavior) มากกว่าการไหลหนืด (viscous property หรือ liquid-like

behavior) สอดคล้องกับค่า $\tan \delta$ ที่เป็นค่าอัตราส่วนของส่วนที่ไหลหนืดกับส่วนที่ยืดหยุ่น (G''/G') โดยพบว่า $\tan \delta$ มีค่าน้อยกว่า 1 ในทุก ๆ ความถี่ (ภาพที่ 4.11-4.13) แสดงว่ามีสมบัติในการยืดหยุ่น (Rosenthal, 1999) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าพุดคิงข้าวหอมมะลิเหล่านี้มีลักษณะเป็นเจล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lim and Narsimhan (2006) ที่พบว่า พุดคิงทุกตัวอย่างที่ทำจากโปรตีนนมถั่วเหลืองและสตาร์ชที่แตกต่างกันมีสมบัติในการยืดหยุ่นสูง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Alamprese and Mariotti (2011) ที่พบว่าพุดคิงทุกตัวอย่างในงานวิจัยที่ผลิตโดยใช้สารละลายนมผงชาดมันเนย นํ้านมข้าว (rice drink) นมถั่วเหลือง (light soy drink) และน้ำเป็นตัวทำละลายมีค่า G' สูงกว่า G'' และค่า $\tan \delta$ ของทุกตัวอย่างก็มีค่าน้อยกว่า 1 ในทุก ๆ ความถี่ที่ทำการทดสอบ จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างพุดคิงเหล่านี้มีสมบัติการยืดหยุ่นมากกว่าการไหลหนืดหรือมีลักษณะเป็นเจลอ่อน ๆ

เมื่อศึกษาอิทธิพลของแป้งข้าวหอมมะลิที่แตกต่างกันพบว่า พุดคิงที่ทำจาก HPJF มีค่า G' และ G'' สูงกว่าพุดคิงที่ทำจาก LPJF ในช่วง 2 วันแรก หลังจากนั้นค่า G' และ G'' จะลดลงเรื่อย ๆ และมีค่าต่ำกว่าของพุดคิงที่ทำจาก LPJF ส่วน $\tan \delta$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าของพุดคิงที่ทำจาก LPJF ตลอดระยะเวลาการเก็บ ซึ่งตรงข้ามกับพุดคิงที่ทำจาก LPJF ที่ G' และ G'' มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วน $\tan \delta$ มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น นั่นคือในช่วง 2 วันแรกของการเก็บ พุดคิงที่ทำจาก HPJF มีโครงสร้างของเจลที่แข็งแรงกว่าพุดคิงที่ทำจาก LPJF เห็นได้จากการที่ค่า G' และ G'' ของพุดคิงที่ทำจาก HPJF มีค่าสูงกว่าของพุดคิงที่ทำจาก LPJF ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ HPJF สามารถเซตตัวเป็นโครงสร้างเจลได้เร็วกว่า LPJF ดังจะเห็นได้จากผลคุณสมบัติทางความหนืดที่ HPJF มีค่า setback สูงกว่า LPJF แสดงให้เห็นว่า HPJF เกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างเจลได้เร็วกว่า LPJF ในช่วงแรกเพราะโมเลกุลของสตาร์ชยังอยู่ใกล้ชิดกันภายในเม็ดสตาร์ชและมีโปรตีนเชื่อมโยงกันล้อมรอบเม็ดสตาร์ชนั้นอาจจะเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่ายกว่าจึงส่งผลให้โครงสร้างเจลของพุดคิงที่ทำจาก HPJF แข็งแรงกว่าพุดคิงที่ทำจาก LPJF ในช่วง 2 วันแรกของการเก็บ และอาจเป็นเพราะ HPJF ที่ความเข้มข้นระดับนี้สามารถเกิดเจลกับโปรตีนนมได้เช่นเดียวกับ LPJF แม้ว่าผลปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนมกับ HPJF จะบอกว่า HPJF จะไม่สามารถเกิดเจลกับโปรตีนนมได้ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษาในส่วนของเฟสไดอะแกรม แต่ความเข้มข้นของ HPJF ที่ใช้ในการผลิตพุดคิงนั้นสูงกว่าที่ใช้ในการหาเฟสไดอะแกรมมาก ดังนั้นที่ความเข้มข้นสูงกว่าระดับความเข้มข้นที่ศึกษา HPJF อาจสามารถเกิดเจลกับโปรตีนนมได้เช่นเดียวกัน จึงช่วยทำให้พุดคิงที่ทำจาก HPJF มีโครงสร้างของเจลที่แข็งแรงเพิ่มขึ้นในช่วงแรก แต่หลังจากนั้นความแข็งแรงของโครงสร้างเจลของพุดคิงที่ทำจาก HPJF จะค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยจนโครงสร้างเจลมีความแข็งแรงน้อยกว่าของพุดคิงที่ทำจาก LPJF เห็นได้จากการที่ค่า G' และ G'' ของพุดคิงจาก HPJF มีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าต่ำกว่าของพุดคิงที่ทำจาก LPJF ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโครงสร้างเจลของพุดคิงที่ทำจาก HPJF เกิดการคลาย

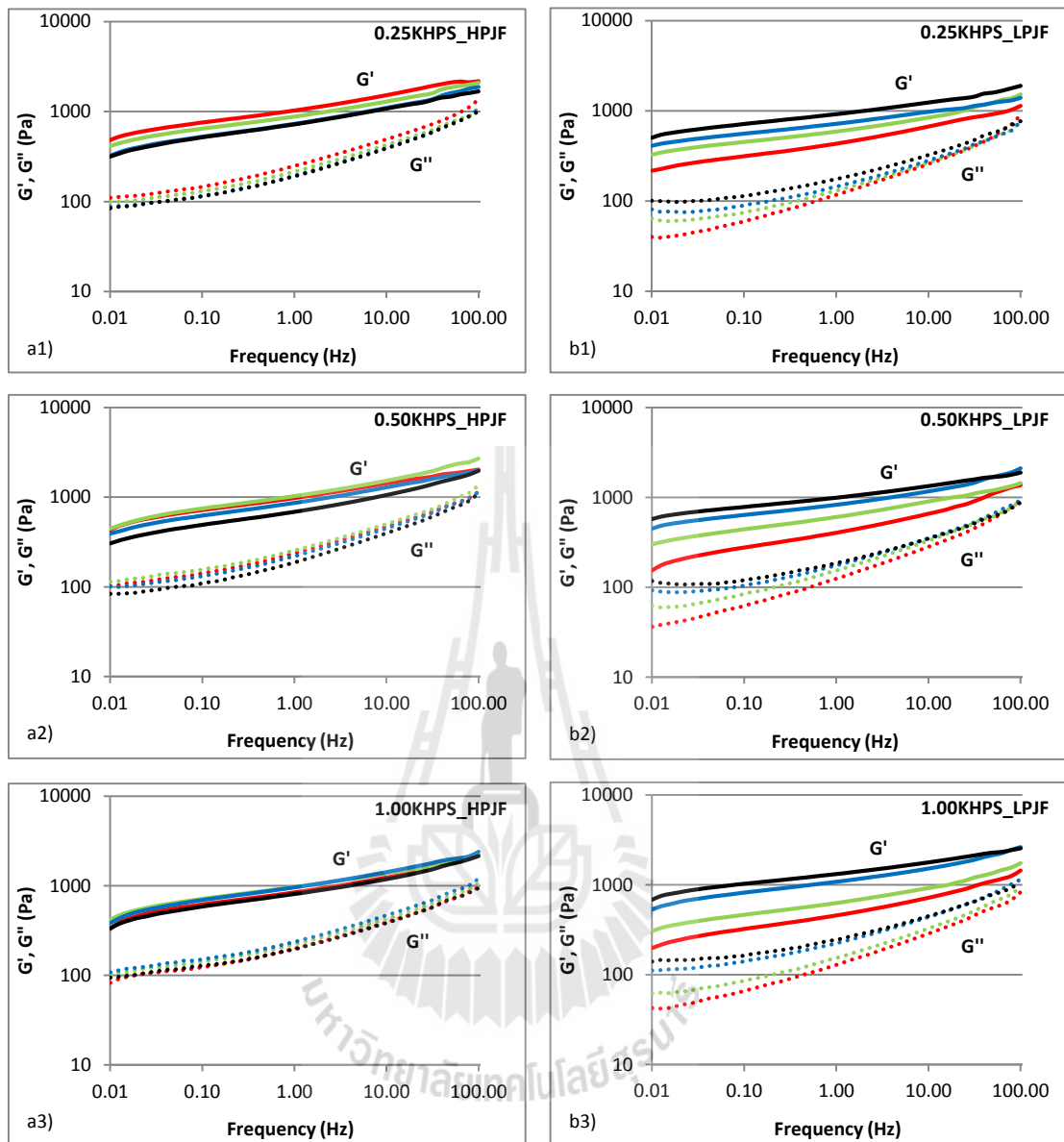
ตัวอันเนื่องมาจากอะไมโลสที่รวมตัวกันเกิดเป็นโครงร่างแหสามมิติของเจล HPJF นั้นจับกันเองได้น้อยและจับกันไม่แน่นพอหรือจับกันได้ไม่สมบูรณ์เพราะโปรตีนข้าวที่มีมากใน HPJF ขัดขวางการซึมผ่านออกมาของอะไมโลสและอาจจะขัดขวางการจับกันหรือการเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนนมด้วย แต่ผลจากค่า G' และ G'' (ภาพที่ 4.9-4.10 (a1 a2 a3)) จะเห็นว่าค่า G' และ G'' ของพุดdingที่ทำจาก HPJF นั้นมีค่าลดลงจากวันที่ 0 เพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกับค่า $\tan \delta$ (ภาพที่ 4.12-4.13 : a1 a2 a3) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเช่นกัน จึงสามารถบอกได้ว่าโครงสร้างเจลของพุดdingที่ทำจาก HPJF นั้นมีความแข็งแรงลดลงเพียงเล็กน้อยหรือมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แตกต่างจากพุดdingที่ทำจาก LPJF ที่โครงสร้างเจลมีความแข็งแรงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่า G' และ G'' (ภาพที่ 4.9-4.10 (b1 b2 b3)) ของพุดdingที่ทำจาก LPJF มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่า $\tan \delta$ (ภาพที่ 4.12-4.13 (b1 b2 b3)) นั้นมีค่าลดลงก็มีสมบัติการยืดหยุ่นหรือมีพฤติกรรมเหมือนของแข็งเพิ่มมากขึ้น โดยค่าที่วัดได้ในแต่ละวันนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าหรือเห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าได้มากกว่าของพุดdingที่ทำจาก HPJF การที่โครงสร้างเจลของพุดdingที่ทำจาก LPJF มีความแข็งแรงกว่าพุดdingที่ทำจาก HPJF อาจเป็นเพราะโมเลกุลของสตาร์ชใน LPJF สามารถเกิดเจลกับโปรตีนนม SMP ได้ดีกว่าดังผลจากเฟสไดอะแกรมในข้างต้น ซึ่งเจลของแป้งข้าวโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยเม็ดสตาร์ชที่ถูกเจลาทิไนซ์และโมเลกุลภายในของสตาร์ชอย่างอะไมโลสที่ซึมผ่านออกมาจากเม็ดสตาร์ชในระหว่างการเจลาทิไนซ์รวมตัวกันเกิดเป็นร่างแหสามมิติเมื่อสตาร์ชเพสท์ถูกทำให้เย็นลง (Miles et al., 1985; Ring, 1985; Morris, 1990) และเมื่อทำการผสมแป้งข้าวกับโปรตีนนม SMP เจลที่ได้นั้นนอกจากจะเกิดจากการรวมตัวของอะไมโลสเป็นโครงร่างของเจลแล้ว เคซีนจากโปรตีนนม SMP ก็จะถูกกักอยู่ภายในโครงร่างเจลนั้นอีกด้วย (Noisuwan et al., 2009) ส่งผลให้เจลมีความแข็งแรงและคงตัวมากขึ้น แม้ว่าจากผลคุณสมบัติทางความหนืดที่บอกว่า LPJF มีค่า setback น้อยกว่า HPJF คือ LPJF เกิดรีโทรเกรเดชั่นได้ช้ากว่า HPJF แต่ก็ยังสามารถเกิดรีโทรเกรเดชั่นได้และยังสามารถเกิดเจลกับโปรตีนนมได้ดีกว่าอีกด้วยจึงส่งผลให้พุดdingที่ทำจาก LPJF มีความแข็งแรงกว่าพุดdingที่ทำจาก HPJF นอกจากนี้ก็จะเห็นว่าโครงสร้างเจลของพุดdingที่ทำจาก LPJF มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเกิดรีโทรเกรเดชั่นหรือการจัดเรียงตัวใหม่ของโครงร่างโดยอะไมโลสจะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและยึดเหนี่ยวกันมากขึ้นทำให้โครงร่างของเจลที่แข็งแรง (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) ทั้งนี้ผลของค่าทางวิทยากระแสนของพุดdingที่ทำจาก HPJF และ LPJF ที่ได้นี้สอดคล้องกับผลทางเนื้อสัมผัส โดยที่ค่า G' และ G'' ของพุดdingที่ทำจาก LPJF มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่า $\tan \delta$ มีค่าลดลงแสดงว่าพุดdingที่ทำจาก LPJF มีสมบัติการยืดหยุ่นหรือมีพฤติกรรมเหมือนของแข็งเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับค่า Hardness Gumminess และ Chewiness ของพุดdingที่ทำจาก LPJF ส่วนของ

พุดคิงที่ทำจาก HPJF ค่า G' และ G'' นั้นมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น แต่ค่า $\tan \delta$ เพิ่มขึ้นแสดงว่าพุดคิงที่ทำจาก HPJF มีสมบัติยืดหยุ่นหรือมีพฤติกรรมเหมือนของแข็งลดลง เช่นเดียวกับค่า Hardness Gumminess และ Chewiness ของพุดคิงที่ทำจาก HPJF

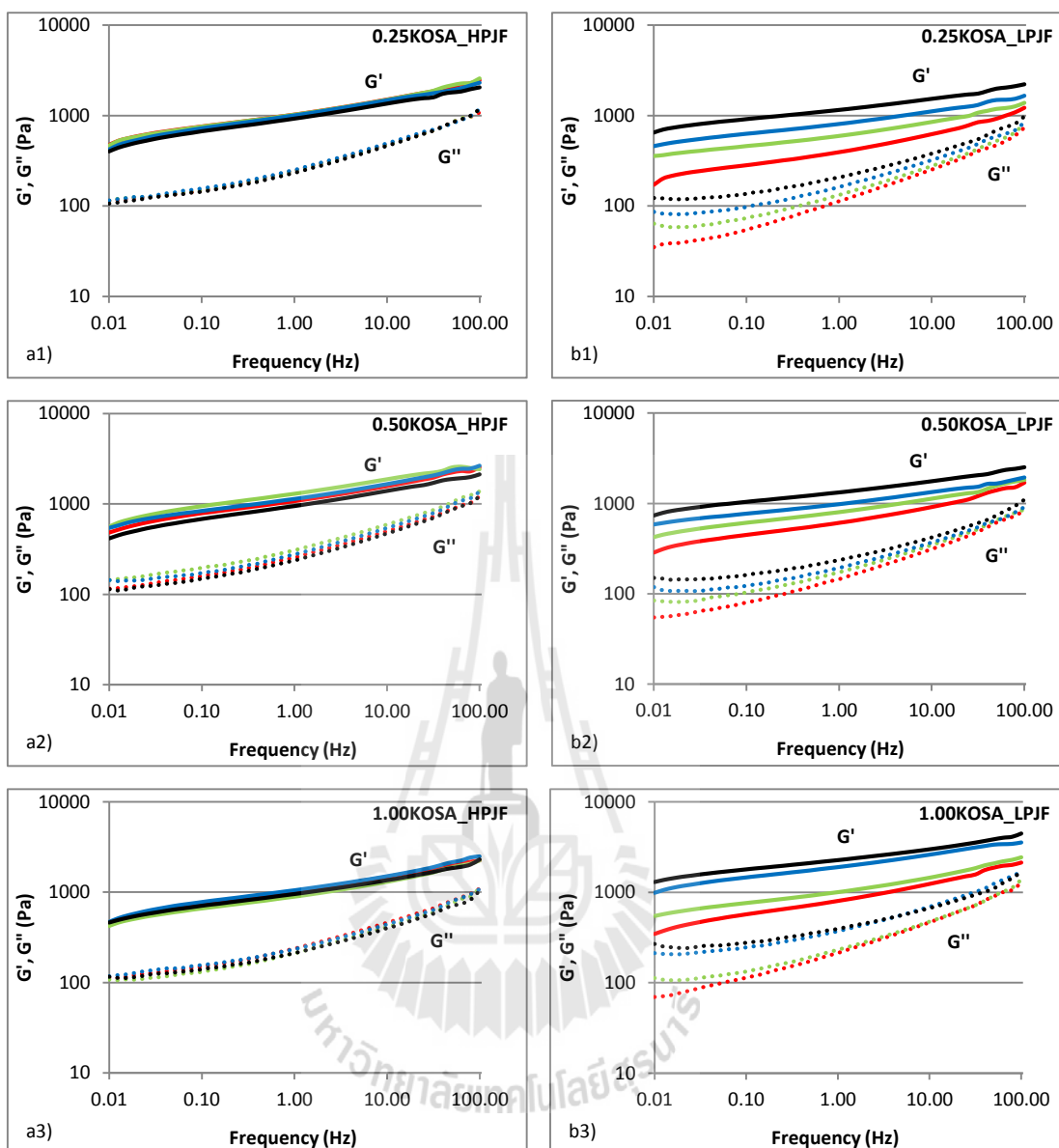


ภาพที่ 4.8 G' (เส้นทึบ) และ G'' (เส้นประ) ของพุดคิงที่ทำจาก HPJF (a) และ LPJF (b) สูตรใส่ไข่: วันที่ 0 (—), 2 (—), 8 (—) และ 14 (—)

เมื่อศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มความคงตัวผสมที่แตกต่างกันพบว่า การใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่ส่งผลให้พุดคิงมีค่า G' และ G'' สูงกว่าพุดคิงสูตรควบคุม โดยการใส่ KOSA จะทำให้พุดคิงมีค่า G' และ G'' สูงกว่าการใส่ KHPS แสดงว่าโครงสร้างเจลของพุดคิงที่มี KOSA มีความแข็งแรงมากกว่าพุดคิงที่มี KHPS ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแป้งดัดแปร OSA ทำปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิก และอิเล็กโตรสแตติกกับเคซีนและแคลปาคาราจีแนน (Krstonosic et al., 2011; Sweedman et al., 2013) รวมทั้งแคลปาคาราจีแนนสามารถจับกับเคซีน โดยดูดซับอยู่บนผิวของเคซีน (Spagnuolo et al., 2005) และกลุ่มของเคซีนที่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นเหล่านี้จะถูกกักอยู่ในโครงสร้างร่างแหสามมิติของเจลสตาร์ชเมื่อสารละลายผสมถูกทำให้เย็นลง (Noisuwan et al., 2009) ทำให้โครงสร้างเจลมีความแข็งแรงมากขึ้นกว่าปกติ ในขณะที่แป้งดัดแปร HPS ไม่เกิดปฏิกิริยากับเคซีนและแคลปาคาราจีแนน มีเพียงแคลปาคาราจีแนนกับเคซีนที่เกิดการจับกันเองจึงทำให้โครงสร้างเจลอ่อนกว่า แต่แป้งดัดแปร HPS ก็ยังช่วยทำให้เจลมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น (Pal et al., 2002; Lee and Yoo, 2011) เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าในพุดคิงที่ทำจาก HPJF ที่มี KHPS ค่า G' และ G'' จะค่อย ๆ ลดลง แต่สูตรที่มี KOSA ค่า G' และ G'' จะค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ซึ่งแตกต่างจากพุดคิงที่ทำจาก LPJF ทั้งที่มี KHPS หรือ KOSA ค่า G' และ G'' จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น



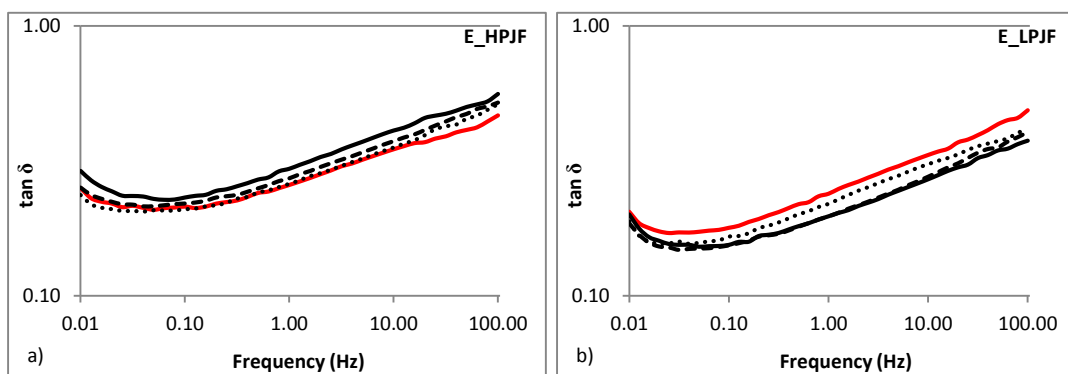
ภาพที่ 4.9 G' (เส้นทึบ) และ G'' (เส้นประ) ของพุดดิ้งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3) สูตรใส่สารเพิ่มคงตัว KHPS แทนไข่: วันที่ 0 (—) 2 (—) 8 (—) และ 14 (—)



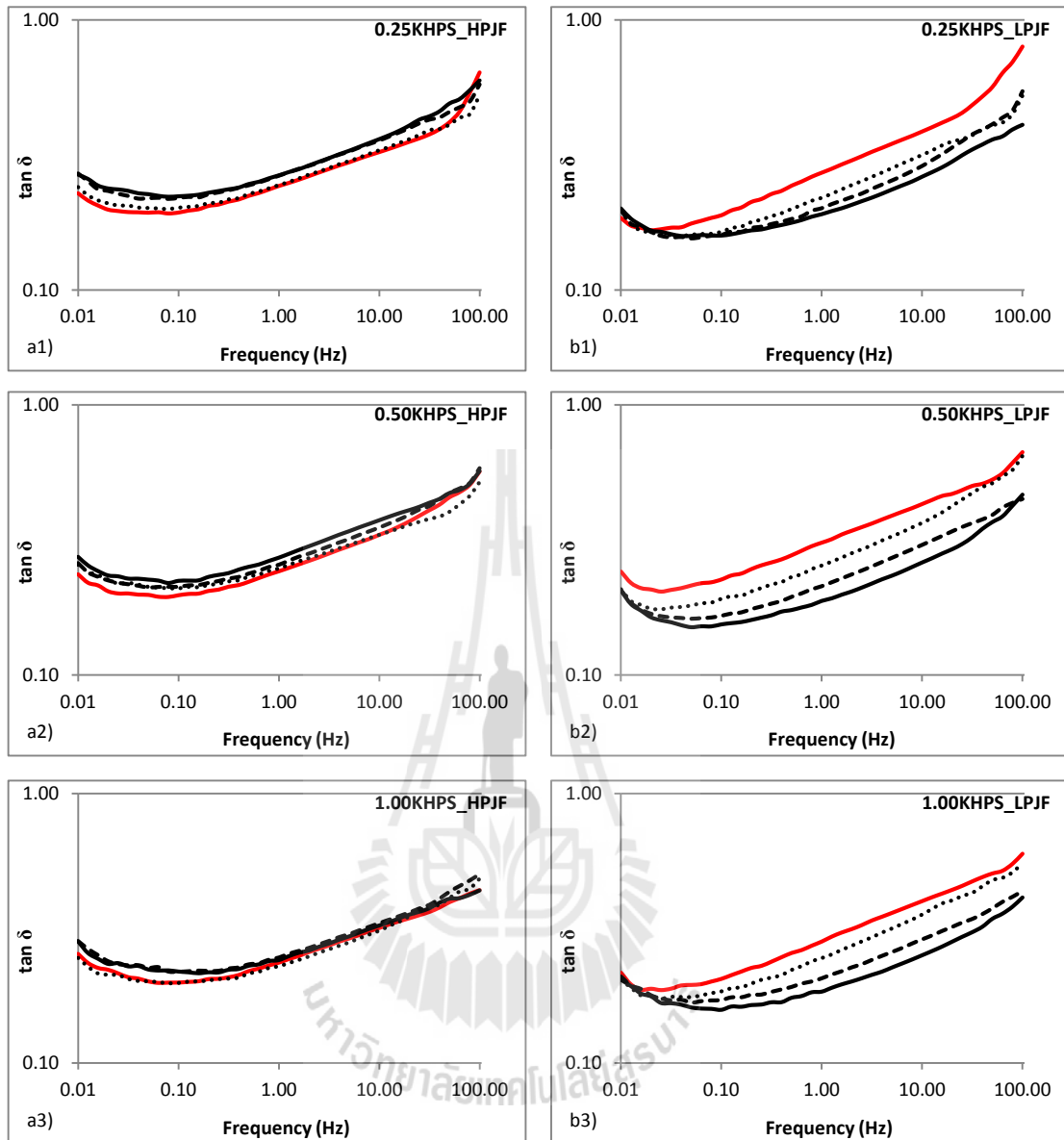
ภาพที่ 4.10 G' (เส้นทึบ) และ G'' (เส้นประ) ของพุดคิงที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3) สูตรใส่สารเพิ่มความคงตัว KOSA แทนไข่: วันที่ 0 (—) 2 (—) 8 (—) และ 14 (—)

เมื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสมพบว่า พุดคิงที่ทำจาก HPJF ที่มี KHPS หรือ KOSA จะมีค่า G' และ G'' ใกล้เคียงกันในทุกความเข้มข้นของ KHPS หรือ KOSA แตกต่างจากพุดคิงที่ทำจาก LPJF ที่ค่า G' และ G'' จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองจะเห็นว่า สารเพิ่มความคงตัวผสมที่ใส่ลงไปในนั้นมีผลทำให้ G' และ G''

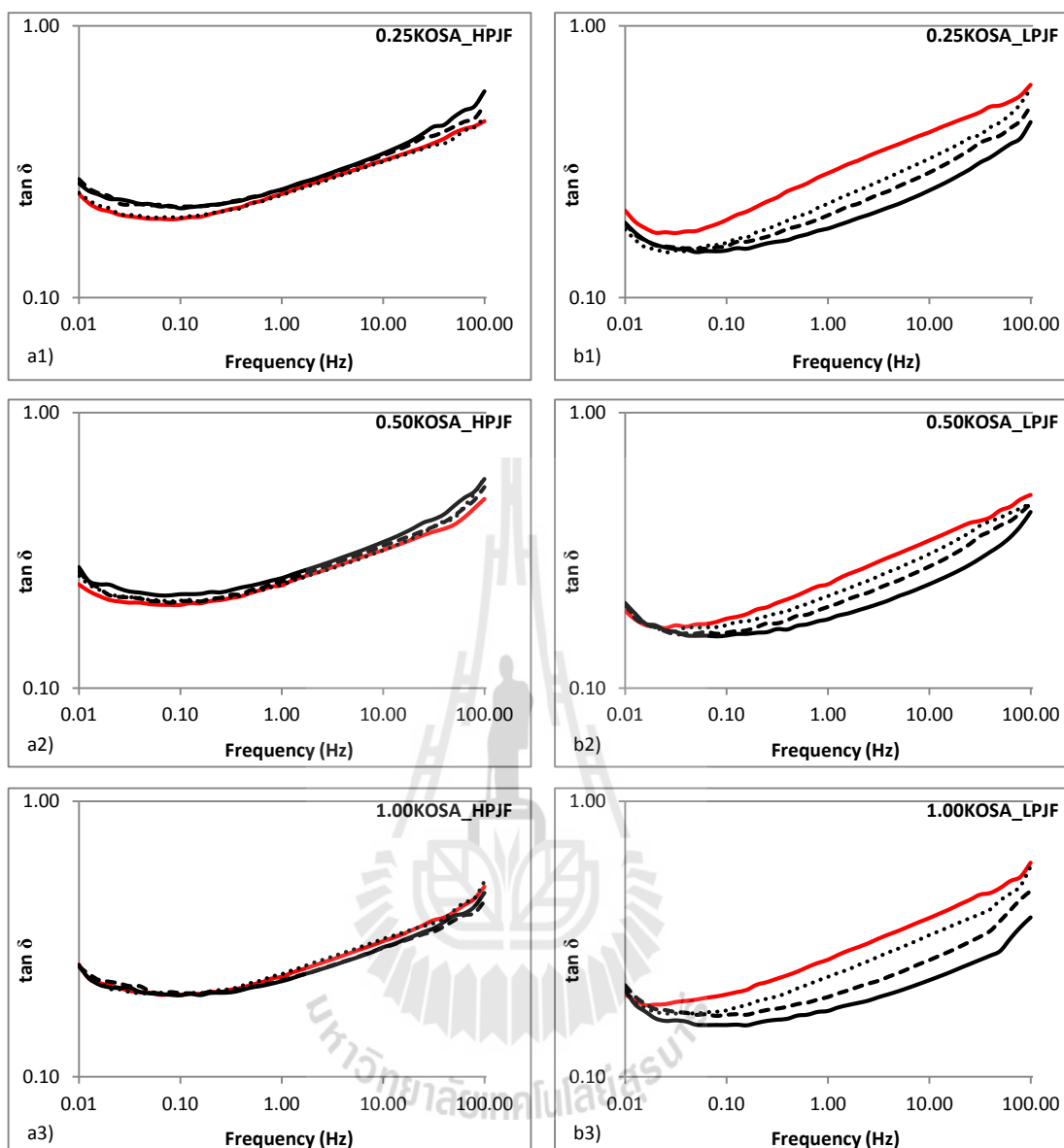
ของพุดดิ่งที่ทำจาก HPJF มีค่ามากกว่าสูตรควบคุมในทุกความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสม แต่ปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า G' และ G'' น้อยมากเพราะทุกความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสมในพุดดิ่งที่ทำจาก HPJF นั้นมีค่า G' และ G'' ใกล้เคียงกัน แตกต่างจากค่า G' และ G'' ของพุดดิ่งที่ทำจาก LPJF ที่ความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสมที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า G' และ G'' มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณโปรตีนข้าวใน HPJF ที่มีมากกว่านั้นอาจจะมีผลต่อการจับกันหรือการเกิดปฏิกิริยากันระหว่างส่วนผสมต่าง ๆ ในพุดดิ่งซึ่งส่วนผสมต่าง ๆ ในที่นี้คือสารเพิ่มความคงตัวผสม โดยโปรตีนข้าวจะไปขัดขวางการดูดซับน้ำของเม็ดสตาร์ช ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวได้ไม่เต็มที่จึงส่งผลให้โมเลกุลของสตาร์ชซึมผ่านออกมาได้น้อย โมเลกุลของสตาร์ชที่ซึมผ่านออกมาเหล่านี้จะสามารถเกิดปฏิกิริยากันเองและสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารเพิ่มความคงตัวผสม ทำให้เกิดโครงสร้างเจลที่ดีได้ แต่เมื่อระบบของ HPJF นั้นมีโมเลกุลของสตาร์ชซึมผ่านออกมาน้อยจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยากับสารเพิ่มความคงตัวผสมได้น้อยกว่าระบบของ LPJF และแม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสมกลับไม่ได้ช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชกับสารเพิ่มความคงตัวผสมได้ ในขณะที่ระบบของ LPJF ที่มีปริมาณโปรตีนข้าวน้อยกว่า การขัดขวางการดูดซับน้ำของเม็ดสตาร์ชจากโปรตีนเกิดขึ้นได้น้อยมาก รวมทั้งผลจากการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างและการบดแป้งข้าวหลายครั้งทำให้เม็ดสตาร์ชแข็งแรงน้อยกว่า เม็ดสตาร์ชจึงดูดซับน้ำได้มากกว่าและพองตัวได้เต็มที่ส่งผลให้โมเลกุลของสตาร์ชสามารถซึมผ่านออกมาได้มากกว่า และเกิดการจับตัวกันเองหรือเกิดปฏิกิริยากับสารเพิ่มความคงตัวผสมได้มากกว่า และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวผสมที่ใส่เข้าไป โมเลกุลของสตาร์ชที่มีมากจึงสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารเพิ่มความคงตัวผสมได้อีกเรื่อย ๆ จึงเป็นเหตุผลให้พุดดิ่งจาก LPJF นั้นมีค่า G' และ G'' เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.11 $\tan \delta$ ของพุดดิ่งที่ทำจาก HPJF (a) และ LPJF (b) สูตรใส่ไข่: วันที่ 0 (—) 2 (.....), 8 (---) และ 14 (——)



ภาพที่ 4.12 $\tan \delta$ ของพุดังที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3) สูตรใส่สารเพิ่มคง
ตัว KHPS แทนไข: วันที่ 0 (—), 2 (.....), 8 (---) และ 14 (—)

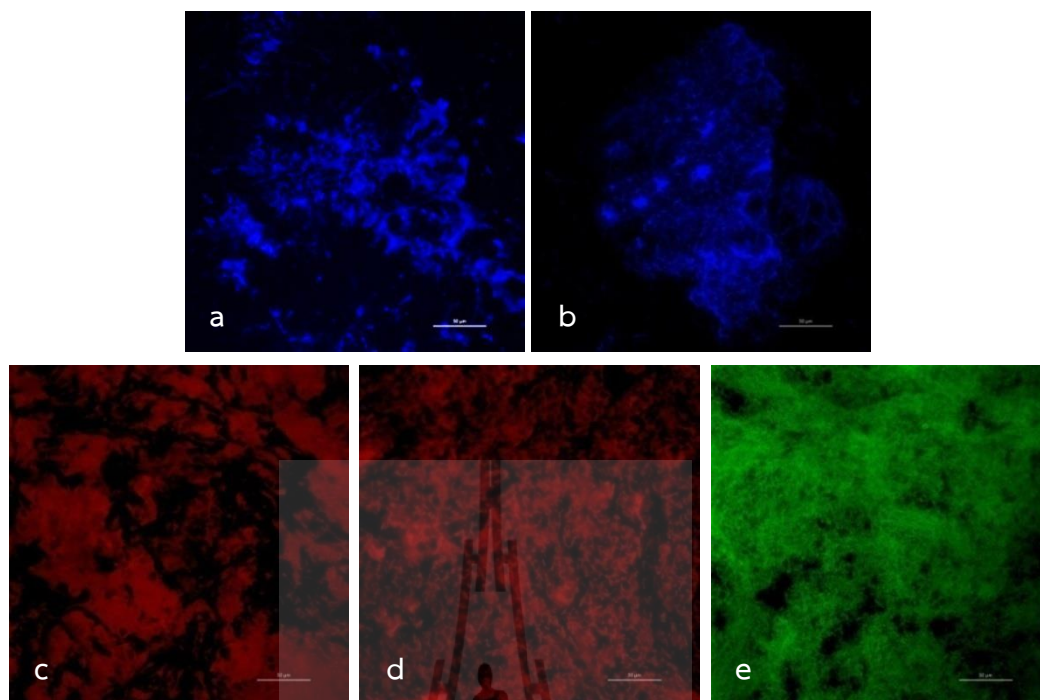


ภาพที่ 4.13 $\tan \delta$ ของพุดคั้งที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3) และ LPJF (b1 b2 b3) สูตรใส่สารเพิ่มคงตัว KOSA แทนไข่: วันที่ 0 (—), 2 (·····), 8 (----) และ 14 (——)

4.3 โครงสร้างภายในของพุดคั้งข้าว

การศึกษาโครงสร้างภายในพุดคั้งข้าวหอมมะลิด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบคอนโฟคอลชนิดที่ใช้เลเซอร์ในการสแกนเพื่อยืนยันสมมติฐานตามผลการศึกษาทางเนื้อสัมผัสและทางวิทยากระแสน โดยการนำพุดคั้งข้าวมาเชื่อมสีส่วนประกอบที่ต้องการศึกษาได้แก่ แป้งข้าวเชื่อมสีด้วย APTS โปรตีนนมเชื่อมสีด้วย FITC และสารเพิ่มความคงตัวผสมเชื่อมสีด้วย RITC เมื่อเชื่อมสีตัวอย่างแล้วนำมาส่องกล้องคอนโฟคอลโดยใช้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับสีที่ใช้เชื่อมตัวอย่าง

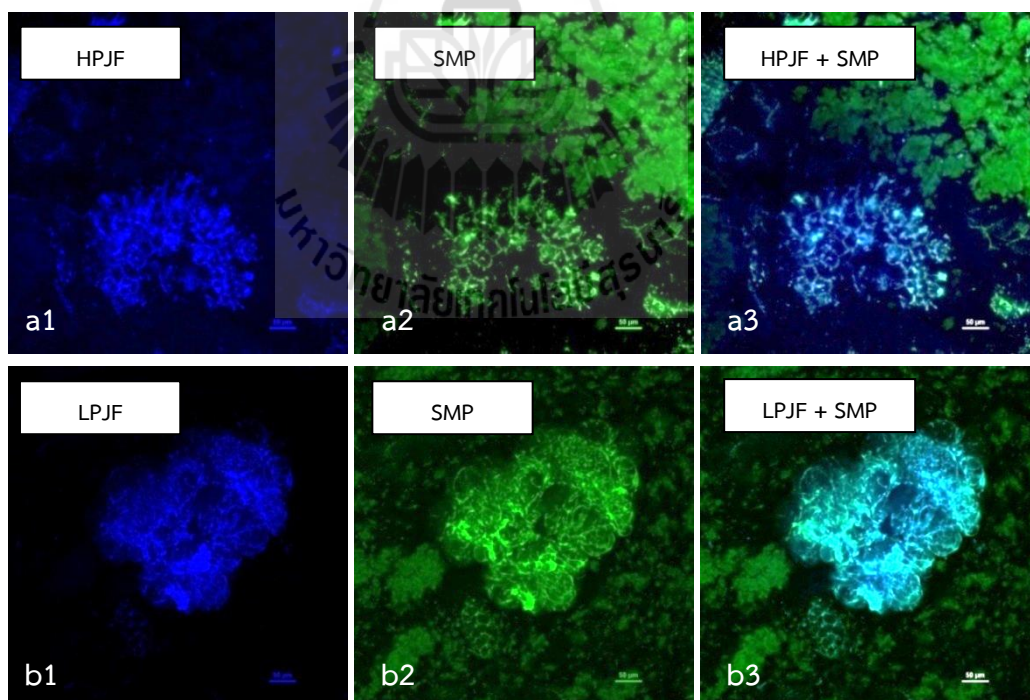
ภาพจากกล้องคอนโฟคอลของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ได้ให้สีที่แตกต่างกันโดยแบ่งขาวที่ล้อมสีด้วย APTS จะมีสีน้ำเงิน โปรตีนนมที่ล้อมสีด้วย FITC จะมีสีเขียว และสารเพิ่มความคงตัวผสมที่ล้อมสีด้วย RITC จะมีสีแดงดังผลที่แสดงในภาพที่ 4.14 ทั้งนี้ paste แป้งข้าวหอมมะลิทั้ง HPJF และ LPJF มีสีน้ำเงินและมีลักษณะเป็น โครงสร้างร่างแหสามมิติทั้งคู่ (ภาพที่ 4.14a และ b ตามลำดับ) โดย LPJF มีโครงสร้างร่างแหสามมิติที่ละเอียดและเกาะกลุ่มกันแน่นกว่าโครงสร้างของ HPJF อาจเป็นเพราะปริมาณโปรตีนขาวที่แตกต่างของ HPJF และ LPJF โดยปริมาณโปรตีนขาวที่มีมากกว่าของ HPJF กีดขวางการแทรกซึมของน้ำที่จะเข้าไปในเม็ดสตาร์ชดังกล่าวข้างต้นทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวไม่เต็มที่อะไมโลสจึงซึมผ่านออกมาได้น้อย แตกต่างจาก LPJF ที่มีปริมาณโปรตีนขาวน้อยไม่กีดขวางการดูดซับน้ำของเม็ดสตาร์ช รวมทั้งผลจากการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างและการบดแป้งข้าวหลายครั้งทำให้เม็ดสตาร์ชแข็งแรงน้อยกว่า เม็ดสตาร์ชจึงพองตัวได้เต็มที่และโมเลกุลของอะไมโลสจะซึมผ่านออกมาได้มากกว่า ซึ่งปริมาณอะไมโลสที่ซึมผ่านออกมานี้จะมีผลต่อลักษณะโครงสร้างเจลของแป้งดังผลของโครงสร้างภายในของ HPJF และ LPJF ที่จะเห็นว่าโครงสร้างเจลที่เป็นร่างแหสามมิติของ LPJF นั้นมีลักษณะโครงสร้างที่ละเอียดและเกาะกลุ่มกันแน่นกว่าของ HPJF เพราะ LPJF มีปริมาณอะไมโลสที่ซึมผ่านออกมามากกว่าจึงสามารถจับกันเองจนเกิดเป็นโครงสร้างของเจลได้มากกว่าและแน่นกว่าเจลของ HPJF ที่มีปริมาณอะไมโลสซึมผ่านออกมาน้อยกว่า ส่วนสารเพิ่มความคงตัวผสมระหว่างแคลปาคาราจีแนนกับแป้งคัดแปร HPS หรือ OSA มีสีแดง (ภาพที่ 4.14c และ d ตามลำดับ) โดยที่ KOSA มีการกระจายตัวที่ดีและละเอียดกว่า KHPS ที่มีการกระจายตัวแบบอยู่กันเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ ๆ ทำให้มีช่องว่างระหว่างกลุ่มเกิดขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแป้งคัดแปร OSA สามารถทำปฏิกิริยาอิเล็กโตรสแตติกกับแคลปาคาราจีแนนได้ ทำให้ส่วนผสมของ KOSA มีการกระจายตัวที่ดีกว่า ส่วน HPS นั้นไม่เกิดปฏิกิริยากับแคลปาคาราจีแนนแต่จะช่วยให้สารละลายมีความข้นหนืดเพิ่มขึ้นเท่านั้นจึงทำให้ส่วนผสมของ KHPS อยู่กันเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ ๆ ที่มีความข้นหนืด และส่วนสุดท้ายคือสารละลายนมผงขาดมันเนยมีสีเขียวและมีลักษณะการกระจายตัวเกาะกลุ่มแบบต่อเนื่องกันไปทั้งระบบ (ภาพที่ 4.14e)



ภาพที่ 4.14 ภาพจากกล้องคอนโฟคอลของ paste HPJF (a) paste LPJF (b) สารเพิ่มความคงตัวผสม 1.00KHPS (c) 1.00KOSA (d) และสารละลาย SMP (e)

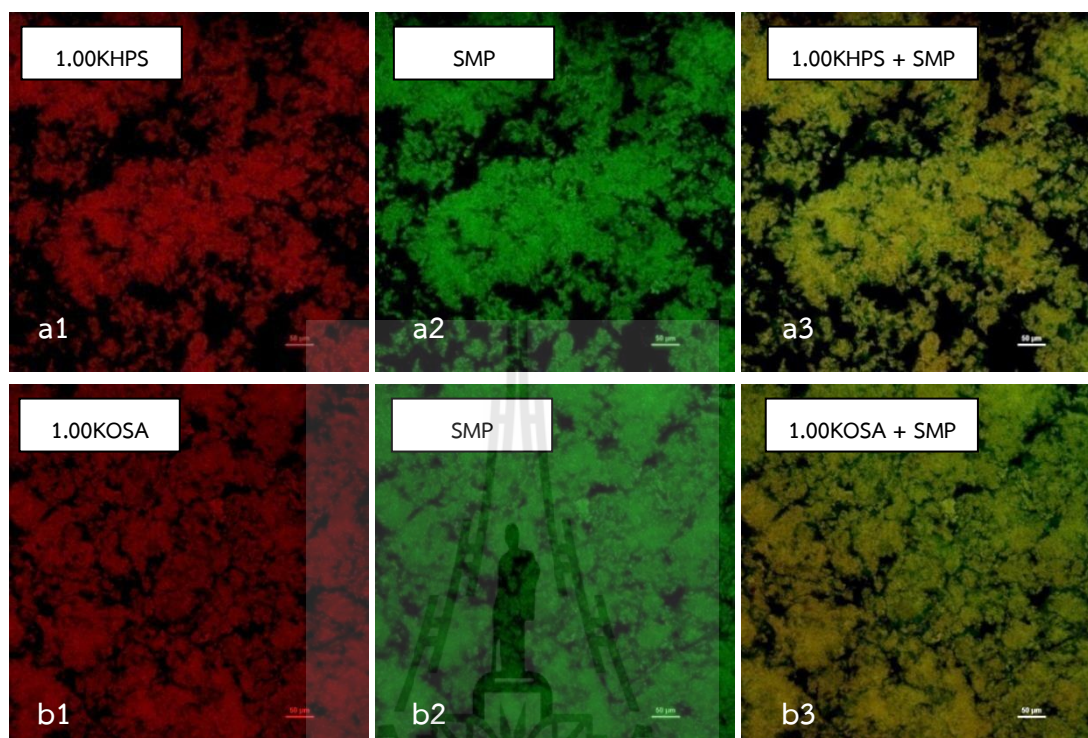
เมื่อนำ paste แป้งข้าวหอมมะลิ (HPJF และ LPJF) และสารเพิ่มความคงตัวผสม (1.00KHPS และ 1.00KOSA) มาแยกผสมกับสารละลายนมผงขาคันเนย (SMP) แล้วนำไปส่องกล้องคอนโฟคอล (ภาพที่ 4.15 และ 4.16) ผลที่ได้พบว่า ลักษณะโครงสร้างภายในของแต่ละระบบมีความแตกต่างกัน โดยเมื่อ paste แป้งข้าวหอมมะลิผสมกับสารละลาย SMP จะมีโปรตีนนมบางส่วนแทรกซึมเข้าไปอยู่ในโครงสร้างร่างแหของเจลแป้งโดยเฉพาะในเจลของ LPJF (ภาพที่ 4.15b3) สังเกตได้จากสีโครงสร้างแหสามมิติของเจลเปลี่ยนไปจากสีน้ำเงินเข้มเป็นสีฟ้าอมเขียว เพราะมีโปรตีนนมที่ถูกย้อมด้วยสีเขียวแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างแต่ยังมีโปรตีนนมบางส่วนล้อมรอบอยู่ด้านนอก แตกต่างจากเจลของ HPJF (ภาพที่ 4.15a3) ที่โครงสร้างร่างแหส่วนใหญ่ของเจลยังคงมีสีน้ำเงินเข้ม มีเพียงขอบด้านนอกเล็กน้อยเท่านั้นที่โปรตีนนมสามารถแทรกซึมเข้าไปได้ การแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างเจลของโปรตีนนมนี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกับในงานวิจัยของ Noisuwan et al. (2009) ที่พบว่าเมื่อทำการผสมแป้งข้าวกับสารละลาย SMP เจลที่ได้นั้นนอกจากจะเกิดจากการรวมตัวกันของอะไมโลสเป็นโครงร่างของเจลแล้ว เคซีนจากโปรตีนนม SMP ยังถูกกักอยู่ภายในโครงสร้างเจลด้วยซึ่งจะส่งผลทำให้เจลมีความแข็งแรงและคงตัวมากขึ้น ส่วนในระบบของสารเพิ่มความคงตัวผสมกับสารละลาย SMP พบว่า สารเพิ่มความคงตัวผสมและสารละลาย SMP กระจาย

อยู่ร่วมกันในพื้นที่เดียวกันของระบบ สังเกตได้จากสีของสารละลายผสมระหว่าง KHPS หรือ KOSA กับสารละลาย SMP เปลี่ยนแปลงไป มีการซ้อนทับกันของสีแดงที่ใช้ย้อม KHPS หรือ KOSA กับสีเขียวที่ใช้ย้อมโปรตีนนม เกิดเป็นสีเขียวอมส้ม (ภาพที่ 4.16a3 และ b3) ซึ่งการกระจายตัวอยู่ร่วมกันของสารเพิ่มความคงตัวผสมและสารละลาย SMP นี้อาจเป็นเพราะแคลปาคาราจีแนนนั้นสามารถดูดซับอยู่บนผิวของเคซีนได้ (Spagnuolo et al., 2005) แต่เมื่อสังเกตความแตกต่างในการอยู่ร่วมกันของสารละลาย SMP กับ KHPS หรือ KOSA จะพบว่า KOSA มีปฏิสัมพันธ์กับ SMP และมีการกระจายตัวในระบบดีกว่า KHPS โดยที่ KOSA จะกระจายตัวเป็นกลุ่มเล็กๆ สม่ำเสมอกันทั่วระบบ มีช่องว่างระหว่างกลุ่มเพียงเล็กน้อย ซึ่งการกระจายตัวที่สม่ำเสมอของ KOSA นี้เกิดจากการที่แป้งคัดแปร OSA สามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิกและอิเล็กโตรสแตติกกับแคลปาคาราจีแนนและเคซีนในนมได้ (Krstonosic et al., 2011; Sweedman et al., 2013) ในขณะที่ KHPS จะค่อนข้างอยู่ใกล้กันเป็นกลุ่มใหญ่ทำให้มีช่องว่างระหว่างกลุ่มซึ่งกันและกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแป้งคัดแปร HPS ไม่เกิดปฏิสัมพันธ์กับเคซีนและแคลปาคาราจีแนน มีเพียงแค่การเกิดการดูดซับของแคลปาคาราจีแนนบนผิวของเคซีน (Spagnuolo et al., 2005) จึงทำให้ KHPS กระจายตัวในระบบได้ไม่ดีเท่า KOSA



ภาพที่ 4.15 ภาพจากกล้องคอนโฟคอลของส่วนผสมระหว่าง paste แป้งข้าวหอมมะลิกับสารละลายนมผงขาดมันเนย (SMP); paste HPJF (a1); SMP ในส่วนผสมที่มี paste HPJF (a2); ระบบส่วนผสมของ paste HPJF กับ SMP (a1 + a2 = a3); paste LPJF

(a2); SMP ในส่วนผสมที่มี paste LPJF (a2); ระบบส่วนผสมของ paste LPJF กับ SMP ($b1 + b2 = b3$)

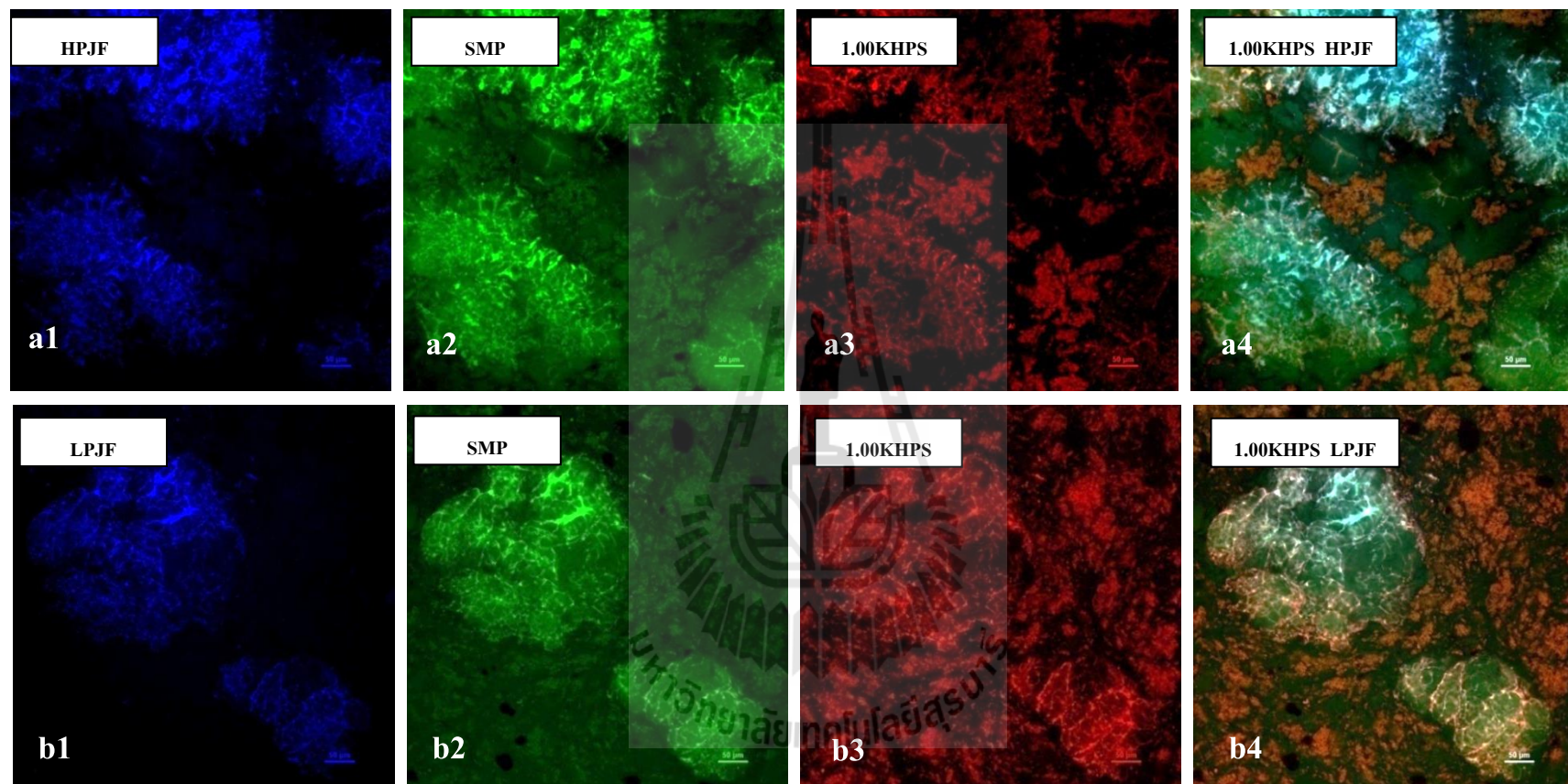


ภาพที่ 4.16 ภาพจากกล้องคอนโฟคอลของส่วนผสมระหว่างสารเพิ่มความคงตัวผสมกับสารละลายนมผงขาดมันเนย (SMP); 1.00KHPS (a1); SMP ในส่วนผสมที่มี 1.00KHPS (a2); ระบบส่วนผสมของ 1.00KHPS กับ SMP ($a1 + a2 = a3$); 1.00KOSA (b1); SMP ในส่วนผสมที่มี 1.00KOSA (b2); ระบบส่วนผสมของ 1.00KOSA กับ SMP ($b1 + b2 = b3$)

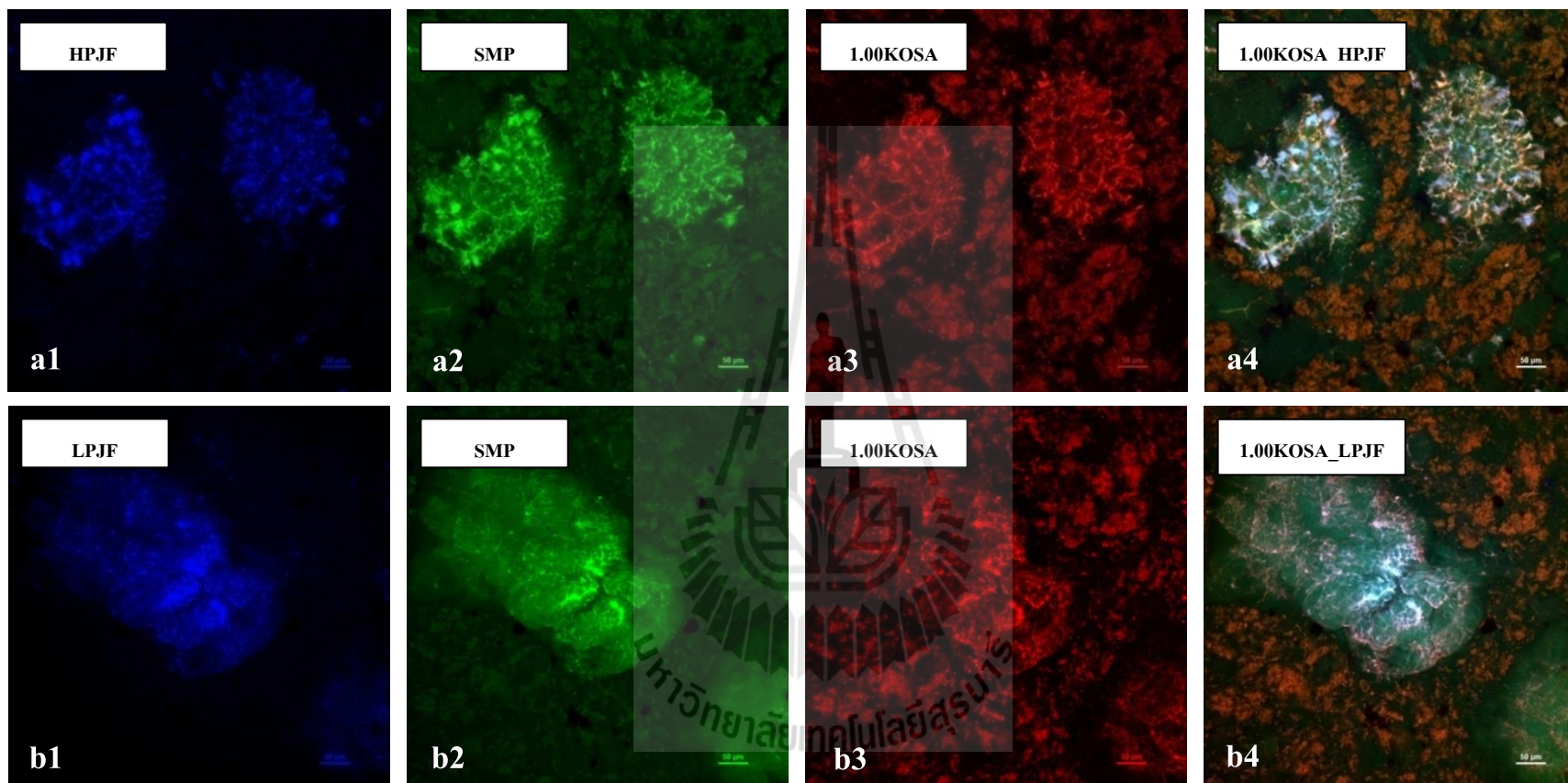
เมื่อนำส่วนประกอบหลักทั้ง 3 อย่าง คือ paste แป้งข้าวหอมมะลิ (HPJF และ LPJF) สารเพิ่มความคงตัวผสม (1.00KHPS และ 1.00KOSA) และสารละลายนมผงขาดมันเนย (SMP) มาผสมรวมกันกับส่วนประกอบอื่นที่เหลือเพื่อผลิตเป็นพุดดิงข้าวหอมมะลิแล้วนำมาตรวจด้วยกล้องคอนโฟคอล (ภาพที่ 4.17 และ 4.18) พบว่าลักษณะโครงสร้างภายในของพุดดิงข้าวแต่ละสูตรนั้นแตกต่างกัน การอยู่ร่วมกันของทั้ง 3 ส่วนประกอบหลักมีลักษณะเดียวกันกับผลที่ได้จากการศึกษาโครงสร้างภายในแบบข้อมส่วนประกอบแยกและแบบผสมกับสารละลายนมผงขาดมันเนยในข้างต้น นอกจากนี้ผลที่ได้ก็ยังสอดคล้องกับผลการทดลองทางเนื้อสัมผัสและทางวิทยากระแสน้ำ บอกว่า พุดดิงที่ทำจาก LPJF มีเนื้อสัมผัสแน่นแข็ง มีโครงสร้างของเจลที่แข็งแรงและมีความคงตัว

กว่าพุดดิงที่ทำจาก HPJF อาจเนื่องมาจากโมเลกุลของสตาร์ชใน LPJF สามารถเกิดเจลกับโปรตีนนม SMP ได้ดีกว่า HPJF ซึ่งจากผลการศึกษาโครงสร้างภายในของพุดดิงข้าวจะเห็นว่า เจลของ LPJF (ภาพที่ 4.17b1 และ 4.18b1) มีโครงร่างแหสามมิติที่ละเอียดและเกาะกลุ่มกันแน่นมากกว่าเจลของ HPJF (ภาพที่ 4.17a1 และ 4.18a1) และโปรตีนนมบางส่วนยังสามารถแทรกซึมเข้าไปอยู่ในโครงสร้าร่างแหของเจล LPJF ได้ดีกว่าจึงเป็นผลทำให้พุดดิงที่ทำจาก LPJF มีความแข็งแรงและคงตัวมากกว่าพุดดิงที่ทำจาก HPJF

นอกจากนี้ผลของการศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มความคงตัวผสมที่แตกต่างกันจากการทดลองทางเนื้อสัมผัสและทางวิทยากระแสนี้พบว่า การใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมลงไปแทนไขมันช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและโครงสร้างของพุดดิงให้ดีขึ้น โดยที่ KOSA จะทำให้เนื้อสัมผัสมีความแน่นแข็งและโครงสร้างมีความแข็งแรงมากกว่า KHPS ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการศึกษาโครงสร้างภายในของพุดดิงข้าวโดยพบว่า การกระจายตัวของ KHPS (ภาพที่ 4.17a3 และ b3) ค่อนข้างจะอยู่ใกล้กันเป็นกลุ่มใหญ่ มีช่องว่างระหว่างกลุ่มมาก แตกต่างจาก KOSA (ภาพที่ 4.18a3 และ b3) ที่มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งระบบ มีช่องว่างระหว่างกลุ่มเพียงเล็กน้อย ซึ่งการกระจายที่แตกต่างกันนี้อาจเป็นเพราะแป้งดัดแปร HPS ไม่เกิดปฏิสัมพันธ์กับเคซีนและแคลปาคาราจีแนน มีเพียงแต่การเกิดการดูดซับของแคลปาคาราจีแนนบนผิวของเคซีน (Spagnuolo et al., 2005) จึงทำให้เนื้อสัมผัสและโครงสร้างของเจลอ่อนกว่า แต่แป้งดัดแปร HPS ก็ยังช่วยให้เจลมีความข้นหนืดเพิ่มขึ้น (Pal et al., 2002; Lee and Yoo, 2011) ในขณะที่ KOSA จะกระจายตัวเป็นกลุ่มเล็ก ๆ สม่ำเสมอกันทั่วระบบ มีช่องว่างระหว่างกลุ่มเพียงเล็กน้อย ซึ่งการกระจายตัวที่สม่ำเสมอของ KOSA นี้เกิดจากการที่แป้งดัดแปร OSA สามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิกและอิเล็กโตรสแตติกกับแคลปาคาราจีแนนและเคซีนในนมได้ (Krstonosic et al., 2011; Sweedman et al., 2013) รวมทั้งแคลปาคาราจีแนนก็ยังสามารถดูดซับอยู่บนผิวของเคซีนได้อีก (Spagnuolo et al., 2005) ทำให้พุดดิงที่ใส่ KOSA มีเนื้อสัมผัสและโครงสร้างของเจลที่แข็งกว่าดังกล่าวแล้วข้างต้น



ภาพที่ 4.17 ภาพจากกล้องคอนโฟคอลของพอลิไดมเมอร์ที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3 และ a4) และ LPJF (b1 b2 b3 และ b4) ในสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสม 1.00KHPS แทนไข่



ภาพที่ 4.18 ภาพจากกล้องคอนโฟคอลของพุดdingข้าวหอมมะลิที่ทำจาก HPJF (a1 a2 a3 และ a4) และ LPJF (b1 b2 b3 และ b4) ในสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสม 1.00KOSA แทนไข่

4.4 การประเมินผลทางประสาทสัมผัสพุดdingข้าวหอมมะลิ

4.4.1 การประเมินความแตกต่างพุดdingข้าวหอมมะลิ

การประเมินความแตกต่างของพุดdingข้าวหอมมะลิในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา โดยเปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ สี กลิ่นรส ความเนียน เนื้อสัมผัส และลักษณะโดยรวมของพุดding ระหว่างสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่กับสูตรควบคุมของแป้งแต่ละชนิดด้วยผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสในระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 30 คน เพื่อคัดเลือกสูตรที่มีความใกล้เคียงหรือแตกต่างไปจากสูตรควบคุมน้อยที่สุดมาประเมินผลทางประสาทสัมผัสแบบประเมินการยอมรับต่อไป โดยที่ 0 คือไม่มีความแตกต่าง 1 คือแตกต่างเล็กน้อย 2 คือแตกต่างปานกลาง 3 คือแตกต่างมาก และ 4 คือแตกต่างมากที่สุด พบว่า ลักษณะต่าง ๆ ทางประสาทสัมผัสของพุดdingสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่มีความแตกต่างไปจากสูตรควบคุมเล็กน้อยจนถึงปานกลาง (ตารางที่ 4.3) โดยสูตรที่มีความแตกต่างไปจากสูตรควบคุมน้อยที่สุดคือ พุดdingที่ทำจาก HPJF ที่มี 1.00KOSA (1.00KOSA_HPJF) และพุดdingที่ทำจาก LPJF ที่มี 0.25KOSA (0.25KOSA_LPJF) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าคะแนนของความเนียนและเนื้อสัมผัสที่เป็นลักษณะที่สำคัญของพุดdingรวมทั้งลักษณะโดยรวมมีคะแนนอยู่ในกลุ่มที่แตกต่างจากสูตรควบคุมน้อยที่สุด

4.4.2 การประเมินการยอมรับพุดdingข้าวหอมมะลิ

การประเมินการยอมรับพุดdingข้าวหอมมะลิในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบในลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ สี กลิ่นรส ความเนียน เนื้อสัมผัส และลักษณะโดยรวมของพุดding 1.00KOSA_HPJF และ 0.25KOSA_LPJF ด้วยผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสในระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 30 คน โดยที่ 0 คือไม่ชอบ 1 คือชอบเล็กน้อย 2 คือชอบปานกลาง 3 คือชอบมาก และ 4 คือชอบมาก พบว่า ค่าคะแนนการยอมรับในลักษณะต่างๆที่ทดสอบอยู่ในระดับการยอมรับปานกลางถึงยอมรับมาก โดยที่คะแนนการยอมรับในเรื่องของสี กลิ่นรส และลักษณะโดยรวมของพุดdingทั้ง 2 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้คะแนนการยอมรับของพุดding 1.00KOSA_HPJF จะสูงกว่าของพุดding 0.25KOSA_LPJF ส่วนคะแนนการยอมรับในเรื่องของความเนียนและเนื้อสัมผัสนั้นไม่ต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) แม้ว่าพุดding 1.00KOSA_HPJF จะได้คะแนนการยอมรับจากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสมากกว่าพุดding 0.25KOSA_LPJF แต่ผลทางเนื้อสัมผัส ความคงตัว และวิทยากระแสนของพุดding 0.25KOSA_LPJF นั้นดีกว่า และพบว่าพุดdingดังกล่าวมีความคงตัวมากกว่าเพราะมีการเข้มน้ำน้อยกว่า และมีสมบัติการยืดหยุ่นหรือมีลักษณะเป็นเจลที่มีโครงสร้างแข็งแรงกว่าพุดding 1.00KOSA_HPJF ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสที่เป็นผู้บริโภคมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นจึงนำพุดding 0.25KOSA_LPJF ไปทดสอบหาอายุการเก็บต่อไป

ตารางที่ 4.3 คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสพุดdingข้าวหอมมะลิแบบประเมินความแตกต่าง

สูตร	พุดdingที่ทำจาก HPJF					พุดdingที่ทำจาก LPJF				
	สี	กลิ่นรส	ความเนียน	เนื้อสัมผัส	ลักษณะโดยรวม	สี	กลิ่นรส	ความเนียน	เนื้อสัมผัส	ลักษณะโดยรวม
Egg (control)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a
0.25KHPS	1.17 ^b	1.30 ^{bc}	1.10 ^b	1.73 ^{cd}	1.40 ^b	1.03 ^b	1.17 ^b	1.17 ^b	1.50 ^c	1.37 ^b
0.50KHPS	1.93 ^c	1.37 ^{bc}	1.73 ^d	2.07 ^d	1.90 ^c	1.77 ^c	1.27 ^b	1.67 ^{cd}	1.67 ^c	1.77 ^c
1.00KHPS	0.93 ^b	1.57 ^c	1.30 ^{bc}	1.97 ^{cd}	1.43 ^b	1.73 ^c	1.20 ^b	1.07 ^b	1.50 ^c	1.57 ^{bc}
0.25KOSA	2.17 ^c	1.37 ^{bc}	2.23 ^c	1.93 ^{cd}	2.00 ^c	2.27 ^d	1.07 ^b	1.10 ^b	0.90 ^b	1.33 ^b
0.50KOSA	2.10 ^c	1.23 ^{bc}	1.60 ^{cd}	1.57 ^c	1.73 ^{bc}	2.57 ^d	1.17 ^b	1.40 ^{bc}	0.83 ^b	1.70 ^c
1.00KOSA	2.13 ^c	1.07 ^b	1.30 ^{bc}	0.97 ^b	1.47 ^b	3.03 ^c	1.37 ^b	1.90 ^d	1.63 ^c	2.20 ^d

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 คะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสพุดdingข้าวหอมมะลิแบบประเมินการยอมรับ

สูตรพุดding	สี	กลิ่นรส	ความเนียน	เนื้อสัมผัส	ลักษณะโดยรวม
1.00KOSA_HPJF	3.00 ^a	3.00 ^a	2.63 ^a	2.47 ^a	2.87 ^a
0.25KOSA_LPJF	2.63 ^b	2.13 ^b	2.40 ^a	2.40 ^a	2.30 ^b

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

4.5 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของพุดดิ้งข้าวหอมมะลิ

จากผลการศึกษาคูณภาพทางกายภาพของพุดดิ้งข้าวหอมมะลิที่พบว่าพุดดิ้ง 0.25KOSA_LPJF นั้นมีคุณภาพทางกายภาพและความคงตัวที่ดีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา จึงใช้คุณภาพทางจุลินทรีย์เป็นตัวชี้วัดในการศึกษาอายุการเก็บของพุดดิ้งข้าวหอมมะลิ โดยนำพุดดิ้งข้าวหอมมะลิสูตร 0.25KOSA_LPJF มาทำการตรวจคุณภาพทางจุลินทรีย์โดยวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา Coliform และ *E. coli* เป็นเวลา 2 สัปดาห์ (14 วัน) แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.5 จะเห็นว่า ตั้งแต่วันที่ 12 ของการเก็บรักษา พุดดิ้งข้าวหอมมะลิมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราเกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของสังขยา (มพช. 527/2547) ซึ่งถือเป็นผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับพุดดิ้งมากที่สุดที่มีการกำหนดมาตรฐานในปัจจุบันของประเทศไทย ทั้งนี้มาตรฐานดังกล่าวกำหนดให้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1.0×10^4 cfu/g โคลิฟอร์มต้องน้อยกว่า 3 MPN/g ยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 cfu/g ดังนั้นจึงสามารถใช้จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดหรือจำนวนยีสต์และรามากำหนดอายุการเก็บได้โดยพบว่าสามารถเก็บรักษาพุดดิ้งข้าวหอมมะลิไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้เป็นระยะเวลา 10 วัน

ตารางที่ 4.5 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของพุดดิ้งข้าวหอมมะลิสูตร 0.25KOSA_LPJF

วันที่	จุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	ยีสต์และรา (cfu/g)	Coliform และ <i>E. coli</i> (MPN/g)
0	< 25	< 20	-
2	5.3×10^1	< 20	-
4	1.0×10^2	< 20	-
6	4.7×10^2	3.7×10^1	-
8	2.3×10^3	6.5×10^1	-
10	7.0×10^3	8.3×10^1	-
12	1.3×10^4	1.1×10^2	-
14	2.0×10^4	1.3×10^2	-

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การพัฒนาพุดดิงข้าวด้วยการนำแป้งข้าวหอมมะลิที่มีปริมาณโปรตีนแตกต่างกัน (HPJF และ LPJF) ผสมกับสารเพิ่มความคงและแป้งคัดแปรเพื่อทดแทนไข่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและลดกลิ่นคาวไข่ของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้ดีขึ้นได้ ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวหอมมะลิ กระบวนการสกัดโปรตีนข้าวและจำนวนครั้งในการบดแป้งข้าวมีผลต่อคุณสมบัติทางความหนืดและการเกิดปฏิสัมพันธ์กับโปรตีนนมที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของพุดดิงดังกล่าว โดยการเชื่อมโยงกันของโปรตีนในแป้งข้าวจะไปขัดขวางการดูดซับน้ำของเม็ดสตาร์ช ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชพองตัวไม่เต็มที่ อะไมโลสหรือโมเลกุลของสตาร์ชจึงซึมผ่านออกมาจากเม็ดสตาร์ชได้น้อย ส่งผลให้ HPJF มีความหนืดน้อยกว่า LPJF ในขณะเดียวกันกระบวนการสกัดโปรตีนข้าวและการบดแป้งข้าวหลายครั้งในการผลิต LPJF มีผลทำให้เม็ดสตาร์ชมีขนาดเล็กลง โครงสร้างและผิวของเม็ดสตาร์ชถูกทำลายอะไมโลสซึมผ่านออกมาได้มากและสามารถดูดซับน้ำพร้อมทั้งพองตัวในกระบวนการเกิดเจลได้ดีกว่า HPJF ส่งผลให้แป้ง LPJF มีความหนืดมากกว่า HPJF และอะไมโลสที่ซึมผ่านออกมาได้มากกว่าในแป้ง LPJF สามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กับโปรตีนนมมากกว่าแป้ง HPJF จึงเกิดเจลกับโปรตีนนม SMP ได้ดีกว่าแป้ง HPJF ทำให้เฟสไดอะแกรมของแป้ง LPJF กับโปรตีนนมมีพื้นที่ของเจล ในขณะที่เฟสไดอะแกรมของแป้ง HPJF ไม่มีพื้นที่ที่เกิดเจลกับโปรตีนนมที่ความเข้มข้นที่ศึกษา

เมื่อนำ HPJF และ LPJF มาผลิตพุดดิงข้าวหอมมะลิสูตรใส่ไข่และสูตรใส่สารเพิ่มความคงตัวผสมแทนไข่ที่ระดับความเข้มข้นของแคลปาคาราจีแนนแตกต่างกันผสมกับแป้งคัดแปรสองชนิด (HPS หรือ OSA) ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันพบว่า พุดดิงข้าวหอมมะลิทุกสูตรมีลักษณะเป็นเจลอ่อนๆและมีสีเหลืองอ่อน แต่พุดดิงที่ทำจากแป้ง LPJF มีลักษณะเป็นเจลที่แข็งและมีความคงตัวกว่าพุดดิงที่ทำจากแป้ง HPJF ในขณะที่สารเพิ่มความคงตัวผสม KOSA ทำให้พุดดิงมีเนื้อสัมผัสและมีโครงสร้างเจลที่แข็งแรงมากกว่า KHPS ทั้งนี้เพราะ OSA สามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิกและอิเล็กโตรสแตติกกับเคซีนและแคลปาคาราจีแนนได้ ส่วน HPS ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้ทำให้โครงสร้างเจลในพุดดิงที่มี KHPS มีลักษณะที่อ่อนกว่าการใช้ KOSA แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ KHPS หรือ KOSA จะทำให้โครงสร้างเจลของพุดดิงที่ทำจาก LPJF มีความแข็งมากขึ้นในขณะที่ความเข้มข้นดังกล่าวไม่มีผลต่อความแข็งของพุดดิงที่ทำจาก HPJF ผลที่ได้

สามารถยืนยันด้วยการดูโครงสร้างภายในของพุดดิ่งด้วยกล้องคอนโฟคอลโดยโครงสร้างภายในของพุดดิ่งที่มี KHPS และ HPJF จะมีช่องว่างระหว่างกลุ่มของ KHPS และ โปรตีนนมเป็นพื้นที่กว้างกว่าพุดดิ่งที่ใช้ KOSA และ LPJF

สำหรับการประเมินผลทางประสาทสัมผัสพุดดิ่งข้าวหอมมะลิในลักษณะด้านต่าง ๆ พบว่าพุดดิ่งสูตร 1.00KOSA_HPJF และสูตร 0.25KOSA_LPJF มีความแตกต่างไปจากสูตรควบคุมน้อยที่สุด และเมื่อนำทั้ง 2 สูตรนี้มาประเมินการยอมรับด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบพบว่า ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสยอมรับพุดดิ่งข้าวหอมมะลิในด้านต่าง ๆ อยู่ในระดับปานกลางถึงมาก ทั้งนี้เมื่อใช้คุณภาพทางจุลินทรีย์เป็นตัวชี้วัดในการศึกษาอายุการเก็บพบว่าพุดดิ่งข้าวหอมมะลิดังกล่าวมีอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสได้เป็นระยะเวลา 10 วัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้วยการประเมินการยอมรับของพุดดิ่งข้าวหอมมะลิสูตร 1.00KOSA_HPJF และ 0.25KOSA_LPJF นั้นอาจจะทำการประเมินผลในวันที่ 4 6 8 และ 10 เพิ่มเติมเพื่อศึกษาช่วงคะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสในวันดังกล่าว

5.2.2 การยืนยันถึงพันธะทางเคมีที่เกิดจากแป้งดัดแปร OSA แคปลาการจีแนนและโปรตีนนมอาจใช้ลำแสงซินโครตรอนเป็นเครื่องมือในการพิสูจน์เพื่อเปรียบเทียบพันธะดังกล่าวในพุดดิ่งที่มีการใช้ HPS

5.2.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์พุดดิ่งต่อไปอาจมีการใช้แป้งข้าวชนิดอื่นเป็นวัตถุดิบในการผลิตพุดดิ่งข้าว เช่น ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เพื่อเพิ่มความหลากหลายและเพื่อให้มีการใช้ประโยชน์จากข้าวสายพันธุ์อื่น ๆ อย่างกว้างขวาง และเพื่อเพิ่มคุณค่าทางด้านโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมากขึ้นด้วย

รายการอ้างอิง

- กมลรัตน์ ไตรทวีทรัพย์ สุกัญญา อานูภาพสโมสร กัญญารัตน์ ธีรพลกุล และสงวนศรี เจริญเหรียญ.
(2555). ผลของสารละลายเบสต่อลักษณะของข้าวเหนียวหุงสุก. การประชุมวิชาการข้าว
แห่งชาติ ครั้งที่ 2 (หน้า 570-573). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จินตนา อุปติสสกุล. (2540). หลักการและความสำคัญของการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร.
กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. (2549). การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร
ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 (หน้า 6-13). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสยาม.
- นิธิยา รัตนานนท์. (2545). เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: อินเดียนสโตร์.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และคณะ. (2546). การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศ
ไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ:
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2547). สังขยา มผช. 527/2547 [ออนไลน์]. ได้จาก:
http://app.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps527_47.pdf
- สุชัญญา ดอกละมุด และปริศนา สุวรรณภรณ์. (2553). การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเจลแป้งข้าวโดย
ใช้เอนไซม์โปรตีเอส. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่
48 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร (หน้า 600-607). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สวทช. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2552). ข้าวขาวดอกมะลิและ
สิทธิบัตรเทคโนโลยีการใช้เอนไซม์ควบคุมความหอมในข้าว. ใน เอกสารประกอบการเสวนา
เรื่อง อนาคตข้าวไทยก้าวอย่างสำคัญหลังจากจดสิทธิบัตรเทคโนโลยีการใช้เอนไซม์ควบคุม
ความหอมในข้าว. กรุงเทพฯ: ศูนย์สื่อสารวิทยาศาสตร์ไทย สวทช.
- ศิวฒ ไทยอุดม และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. (2554). ปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนนมและสารเพิ่มความ
คงตัวจากแป้งมันสำปะหลังคัดแปรต่อระบบอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน. รายงานวิจัยฉบับ
สมบูรณ์. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ศุภนุช ใต้แบ่ง นิรมล อุดมอ่าง และยุทธนา พิมพ์ศิริผล. (2553). ผลของสภาวะในการแช่ข้าวต่อ
สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงอก. เรื่องเต็มการประชุมทาง

- วิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร (หน้า 100-107).
กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์. (2553). **Rheology and Polymer Characterization**. [ออนไลน์].
ได้จาก: <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~sanongn1/rheology.pdf>
- อรอนงค์ วินัยกุล. (2547). **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อิทธิพัทธ์ สุขะ รงชัย สุวรรณลักษณ์ และเพ็ญขวัญ ชมปรีดา. (2551). การพัฒนาสูตรที่เหมาะสม
ของพุดดิ้งเค้กข้าวหอมมะลิ. **เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ครั้งที่ 46 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร** (หน้า 406-413). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Acero-Lopez, A., Alexander, M., and Corredig, M. (2010). Diffusing wave spectroscopy and
rheological studies of rennet-induced gelation of skim milk in the presence of pectin and
K-carrageenan. **International Dairy Journal**. 20(5): 328-335.
- Alamprese, C., and Mariotti, M. (2011). Effects of different milk substitutes on pasting
rheological and textural properties of puddings. **LWT-Food Science and Technology**.
44(10): 2019-2025.
- AOAC. (2005). Official method of Analysis. **The Association of Official Analytical Chemists**.
Washington, DC. USA.
- FAD BAM. (2001). **Bacteriological Analytical Manual (chapter 3): aerobic plate count**. [On-
line]. Available: [http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/
ucm063346.htm](http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm063346.htm)
- FAD BAM. (2001). **Bacteriological Analytical Manual (chapter 18): yeasts, molds and
mycotoxins**. [On-line]. Available: [http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/
LaboratoryMethods/ucm071435.htm](http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm071435.htm)
- Belitz H. D., and Grosch W. (1999). Milk and dairy products. In M.M. Burghagen, D. Hadziyev,
P. Hessel, S. Jordan and C. Sprinz (eds.). **Food Chemistry** (pp. 470-512). New York:
Springer-Verlag.
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. **Food Technology**. 32: 62-66.
- Bourriot, S., Garnier, C., and Doublier, J. L. (1999). Micellar-casein-k-carrageenan mixtures. I.
Phase separation and ultrastructure. **Carbohydrate Polymer**. 40(2): 145-157.
- Buleon, A., Colonna, P., Planchot, V., and Ball, S. (1998). Starch granules: Structure and
biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**. 23(2): 85-112.

- Buttery, R. G., Ling, L. C., and Juliano, B. O. (1982). 2-Acetyl-1-pyrroline: An important aroma component of cooked rice. **Chemistry and Industry (London)**. 12: 958-959.
- Buttery, R. G., Ling, L. C., Juliano, B. O., and Turnbaugh, J. G. (1983). Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 31(4): 823-826.
- Cagampang, G. B., Cruz, L. J., Espiritu, S. G., Santiago, R. G., and Juliano, B. O. (1966). Studies on the extraction and composition of rice proteins. **Cereal Chemistry**. 43: 145-155.
- Cardoso M. B., Putaux, J. L., Samios, D., and da Silveira, N. P. (2007). Influence of alkali concentration on the deproteinization and/or gelatinization of rice starch. **Carbohydrate Polymers**. 70(2): 160-165.
- Carbohydrate Technology. (2011). สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต-ไฮโดรคอลลอยด์ และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. [On-line]. Available: http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter4_1.html
- Chappellaz, A., Alexander, M., and Corredig, M. (2010). Phase separation behavior of caseins in milk containing flaxseed gum and κ-carrageenan: A light-scattering and ultrasonic spectroscopy study. **Food Biophysics**. 5(2): 138-147.
- Chatakanonda, P., Wansuksri, R., and Sriroth, K. (2011). Impact of annealing on susceptibility to acid hydrolysis and physico-chemical properties of cassava starch. **Kasetsart Journal (Natural Science)**. 45: 284-294.
- Chrastil, J. (1994). Effect of storage on the physicochemical properties and quality factors of rice. In W. E. Marshall and J. I. Wadsworth (eds.). **Rice science and technology** (pp. 49-81). New York: Marcel Dekker.
- Considine, T., Noisuwan, A., Hemar, Y., Wilkinson, B., Bronlund, J., and Kasapis, S. (2011). Rheological investigations of the interactions between starch and milk proteins in model dairy systems: A review. **Food Hydrocolloids**. 25(8): 2008-2017.
- de Bont, P. W., van Kempen, G. M. P., and Vreeker, R. (2002). Phase separation in milk protein and amylopectin mixtures. **Food Hydrocolloids**. 16(2): 127-138.
- Dickinson, E. (1998). Stability and rheological implications of electrostatic milk protein-polysaccharide interactions. **Trend in Food Science & Technology**. 9(10): 347-354.
- Doublier, J. L., Garnier, C., Renard, D., and Sanchez, C. (2001). Protein-Polysaccharide interactions. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**. 5(3-4): 202-214.

- Drohan, D. D., Tziboula, A., McNulty, D., and Horne, D.S. (1997). Milk protein-carrageenan interaction. **Food Hydrocolloids**. 11(1): 101-107.
- Food-Info. (2014). **Milk protein** [On-line]. Available: <http://www.food-info.net/uk/protein/milk.htm>
- Food Network Solution. (2010). Carrageenan. [On-line]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1274/carrageenan>
- Goh, K. K. T., Sarkar, A., and Singh, H. (2014). Milk protein-polysaccharide interactions. In M. Boland, H. Singh, and A. Thompson (eds.). **Milk protein** (2nd ed., pp. 387-419). New Zealand: Academic Press.
- Harmaker, B. R., and Griffin, V. K. (1990). Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption. **Cereal Chemistry**. 67(3): 261-264.
- Harmaker, B. R., and Griffin, V. K. (1993). Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. **Cereal Chemistry**. 70(4): 377-380.
- Jane, J. L., and Royby, J. F. (1984). Structure studies of amylose-V complexes and retrograded amylose by action of alpha amylose, and a new method for preparing amyloextrins. **Carbohydrate Research**. 132(1): 105-118.
- Juliano, B. O., Onate, L. U., and Del Mundo, A. M. (1965). Relation of starch composition, protein content and gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice. **Food Technology**. 19(6): 116-121.
- Juliano, B. O. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Science Today**. 16: 334-340.
- Krstonic, V., Dokic, L., and Milanovic, J. (2011). Micellar properties of OSA starch and interaction with xanthan gum in aqueous solution. **Food Hydrocolloids**. 25(3): 361-367.
- Lee, H. L., and Yoo, B. (2011). Effect of hydroxypropylation on physical and rheological properties of sweet potato starch. **LWT-Food Science and Technology**. 44(3): 765-770.
- Lee, Y. E., and Osman, E. M. (1991). Physicochemical factors affecting cooking and eating qualities of rice and the ultrastructural changes of rice during cooking. **Journal Korean Society Food Science Natural**. 20: 637-645.
- Li, Y., Shoemaker, C. F., Ma, J., Luo, C., and Zhong, F. (2009). Effects of Alcalase/Protease N treatments on rice starch isolation and their effects on its properties. **Food Chemistry**. 114(3): 821-828.

- Lim, H. S., and Narsimhan, G. (2006). Pasting and rheological behavior of soy protein based pudding. **LWT Food Science and Technology**. 39(4): 344-350.
- Sochi, T. (2010). Non-Newtonian flow in porous media. **Polymer**. 51(22): 5007-5023.
- Lu, S., and Luh, B. S. (1991). Properties of the rice caryopsis. In B. S. Luh (ed.). **Rice production** (2nd ed., pp. 389-419). New York: Springer Science+Business Media.
- Martin, M., and Fitzgerald, M. A. (2002). Proteins in rice grains influence cooking properties. **Journal of Cereal Science**. 36(3): 285-294.
- Matignon, A., Moulina, G., Bareye, P., Desprairiese, M., Mauduite, S., Sieffermann, J. M., and Michon, C. (2014). Starch/carrageenan/milk proteins interactions studied using multiple staining and Confocal Laser Scanning Microscopy. **Carbohydrate Polymers**. 99(2): 345-355.
- Matsuo, T., Futsuhara, Y., Kikuchi, F., and Yamaguchi, H. (1997). **Science of the rice plant** (Vol. 3). Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center.
- McClements, D. J. (2005). **Food Emulsions: Principles, Practice and Techniques** (2nd ed.) Florida: CRC Press.
- McClements, D. J. (2006). Non-covalent interactions between protein and polysaccharides. **Biotechnology Advances**. 24: 621-625.
- Miles, M. G., Morriss, V. J., and Ring, S. G. (1985). Gelation of amylose. **Carbohydrate Research**. 135: 257-269.
- Morriss, V. J. (1990). Starch gelation and retrogradation. **Trends in Food Science and Technology**. 1: 2-6.
- Noisuwan, A., Bronlund, J., Wilkinson, B. and Hemar, Y. (2008). Effect of milk protein products on the rheological and thermal (DSC) properties of normal rice starch and waxy rice starch. **Food Hydrocolloids**. 22(1): 174-183.
- Noisuwan, A., Hemar, Y., Wilkinson, B., and Bronlund, J. (2009). Dynamic rheological and microstructural properties of normal and waxy rice starch gels containing milk protein ingredients. **Starch-Stärke**. 61(3-4): 214-227.
- Noosuk, P., Hill, S. E., Pradipasena, P., and Mitchell, J. R. (2003). Structure-viscosity relationships for Thai rice starches. **Starch-Starke**. 55(8): 337-344.
- Nunes, M. C., Batista, P., Raymundo, A., Alves, M. M., and Sousa, I. (2003). Vegetable proteins and milk puddings. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. 31(1-4): 21-29.

- Ortega-Ojeda, F. E., Larsson, H., and Eliasson, A. C. (2005). Gel formation in mixtures of hydrophobically modified potato and high amylopectin potato starch. **Carbohydrate Polymer**. 59(3): 313-327.
- Ottenhof, M. A., and Farhat, I. A. (2004). Starch retrogradation. **Biotechnology and Genetic Engineering Reviews**. 21(1): 215-228.
- Pal, J., Singhal, R. S., and Kulkarni, P. R. (2002). Physicochemical properties of hydroxypropyl derivative from corn and amaranth starch. **Carbohydrate Polymers**. 48(1): 49-53.
- Ring, S. G. (1985). Some studies on starch gelation. **Starch/Starke**. 37(3): 80-83.
- Sajilata, M. G., and Singhal, R. S. (2005). Specialty starches for snack foods. **Carbohydrate Polymers**. 59(2): 131-151.
- Singh, J., Kaur, L., and McCarthy, O. J. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications: A review. **Food Hydrocolloids**. 21(1): 1-22.
- Sochi, T. (2010). Non-Newtonian flow in porous media. **Polymer**. 51: 5007-5023.
- Spagnuolo, P. A., Dalgleish, D. G., Goff, H. D., and Morris, E. R. (2005). Kappa-carrageenan interactions in systems containing casein micelles and polysaccharide stabilizers. **Food Hydrocolloids**. 19(3): 371-377.
- Steffe, J. F. (1996). **Rheological methods in food process engineering** (2nd ed). USA: Freeman Press.
- Swaigood, H. E. (1996). Characteristics of milk. In O. R. Fernnema (ed.). **Food Chemistry** (3rd ed. pp. 841-878). New York: Marcel Dekker.
- Sweedman, M. C., Tizzotti, M. J., Shafer, C., and Gilbert, R. G. (2013). Structure and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified starches: A review. **Carbohydrate Polymers**. 92(1): 905-920.
- Tamaki, M., Ebata, M., Tashiro, T., and Ishikawa, M. (1989a). Physio-ecological studies on quality formation of rice kernel. I. Effects of nitrogen top-dressed at full heading time and air temperature during ripening period on quality of rice kernel. **Japanese Journal of Crop Science**. 58(4): 653-658.
- Tamaki, M., Ebata, M., Tashiro, T., and Ishikawa, M. (1989b). Physico-ecological studies on quality formation of rice kernel. II. Changes in quality of rice kernel during grain development. **Japanese Journal of Crop Science**. 58(4): 659-663.

- Thaiudom, S., and Goff, H. D. (2003). Effect of κ -carrageenan on milk protein polysaccharide mixtures. **International Dairy Journal**. 13(9): 763-771.
- Tuschhoff, J. V. (1986). Hydroxypropylated starches. In O. B. Wurzburg (ed.). *Modified starches: Properties and Uses*. Florida: CRC Press.
- Uzogara, S. G., Morton, I. D., and Daniel, J. W. (1988). Quality changes and mineral content of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) seeds processed with “Kanwa” alkaline salt. **Food Chemistry**. 30(1): 1-18.
- Vandeputte, G. E., Vermeulen, R., Geeroms, J., and Delcour, J. A. (2003). Rice starches. III. Structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. **Journal of Cereal Science**. 38(1): 61-68.
- Verbeke, D., Bael, K., Thas, O., and Dewettinck, K. (2006). Interactions between κ -carrageenan, milk proteins and modified starch in sterilized dairy desserts. **International Dairy Journal**. 16(5): 482-488.
- Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellema, A., and van Boekel, M. A. J. S. 1999. **Dairy technology: Principles of milk properties and processes**. New York: Marcel Dekker.
- Whistler, R. L., and Bemiller, J. N. (1999). **Carbohydrate chemistry for food scientists**. St. Paul: Eagan Press.
- Wong, N. P. (1988). **Fundamental of dairy chemistry** (3rd ed). New York: Van Nostrand Reinhold.
- Wongdechsaekul, S., and Kongkiattikajorn, J. (2009). Effect of storage time and storage protein on pasting properties of Khao Dawk Mali 105 rice flour. **Kasetsart Journal (Natural Science)**. 43(5): 232-237.
- Wyss, H., Larsen, R., and Weitz, D. (2007). Oscillatory rheology: Measuring the viscoelastic behaviour of soft materials. **G.I.T. Laboratory Journal**. 3(4): 68-70.
- Xie, L., Chen, N., Duan, B., Zhu, Z., and Liao, X. (2008). Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. **Journal of Cereal Science**. 47(2): 372-379.



ภาคผนวก ก
วิธีการทดลอง



1. วิธีการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมี

1.1 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน Kjeldahl method 928.08 (AOAC, 2005)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บนกระดาษกรองและห่อใส่ในหลอดกลั่นแก้ว เติมสารเร่งปฏิกิริยา (K_2SO_4 : $CuSO_4$ อัตราส่วน 10 : 1) ปริมาณ 5 กรัม แล้วเติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 15 มิลลิลิตร ลงในหลอดแก้ว นำไปย่อยบนเตาย่อยอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้สารละลายสีสีเขียวอมฟ้า ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจึงนำมาต่อเข้าเครื่องกลั่น ในขณะเดียวกันให้นำสารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วหยดอินดิเคเตอร์ผสม 4-5 หยด (bromocresol green 0.22 กรัม และ methyl red 0.075 กรัม ละลายในเอทานอล 95% ปริมาตร 96 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 3.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน) นำไปวางรองรับ distillate จากเครื่องกลั่นโดยให้ปลายหลอดจุ่มในสารละลายบอริก จากนั้นเครื่องจะทำการเติมน้ำกลั่นปริมาตร 70 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในหลอดกลั่น ทำการกลั่นจนสารละลายใน Erlenmeyer flask เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปไทเทรตกับสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน (HCl) 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วงอมเทา ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับหลอด blank ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ คำนวณหาปริมาณโปรตีนแล้วหาค่าเฉลี่ย

$$\% \text{Protein} = \text{Normality HCl (g/L)} \times \frac{\text{corrected acid vol. (ml)}}{\text{Wt. of sample (g)}} \times 14 \times 100 \times \text{factor}$$

เมื่อ Corrected acid vol. = ปริมาตรกรดที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง – ปริมาตรกรดที่ใช้ไทเทรต blank
Factor ที่ใช้คือ 5.95

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน Goldfish method 945.16 (AOAC, 2005)

อบหลอดกระดาษกรองสำหรับหารสกัด (thimble) และภาชนะใส่หลอดสกัด (can) ในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงในตู้ดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก can ก่อนนำไปใช้ จากนั้นชั่งตัวอย่างประมาณ 2-3 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง บนกระดาษกรองแล้วห่อใส่ลงใน thimble เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ 80 มิลลิลิตร ลงใน can แล้วต่อ thimble และ can เข้ากับเครื่อง Goldfish extractor สกัดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด นำ thimble และ can ออกมาวางใน Hood ประมาณ 15 นาที จึงนำ can ไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

24 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงในตู้ดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก can ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ
คำนวณหาปริมาณไขมันแล้วหาค่าเฉลี่ย

$$\% \text{Fat} = \frac{\text{Wt. of fat}}{\text{Wt. of sample}} \times 100$$

เมื่อ $\text{Wt. of fat} = \text{น้ำหนัก can หลังสกัด} - \text{น้ำหนัก can ก่อนสกัด}$

1.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า Dry ashing method 900.02 A (AOAC, 2005)

เผาด้วยกระเบื้องทนไฟ (crucible) ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงในตู้ดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ลงใน crucible นำไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักของตัวอย่างคงที่แล้วนำตัวอย่างออกจากเตาเผา ทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ คำนวณหาปริมาณเถ้าแล้วหาค่าเฉลี่ย

$$\% \text{Ash} = \frac{\text{Wt. of Ash}}{\text{Wt. of sample}} \times 100$$

เมื่อ $\text{Wt. of Ash} = \text{น้ำหนัก crucible พร้อมตัวอย่างหลังเผา} - \text{น้ำหนัก crucibleเปล่า}$

1.4 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น method 925.10 (AOAC, 2005)

อบภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (moisture can) ในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงในตู้ดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ลงใน moisture can นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานประมาณ 2-3 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักของตัวอย่างคงที่แล้วนำตัวอย่างออกจากตู้อบ ทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ คำนวณหาปริมาณความชื้นแล้วหาค่าเฉลี่ย

$$\% \text{Moisture} = \frac{(A - B)}{C} \times 100$$

เมื่อ $A = \text{น้ำหนัก moisture can} + \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}$
 $B = \text{น้ำหนัก moisture can} + \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}$
 $C = \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$

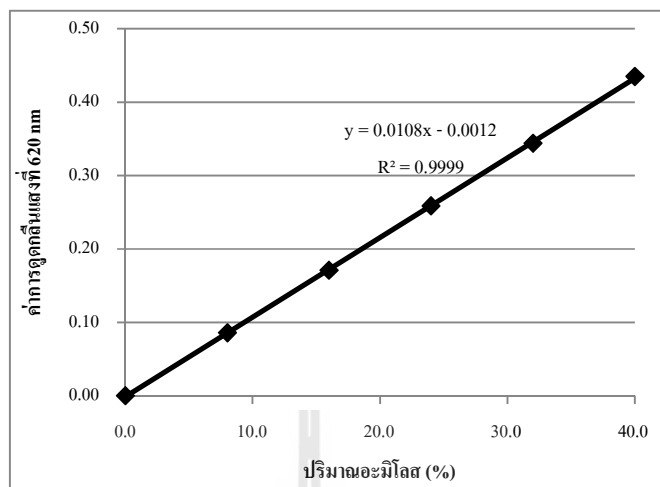
1.5 การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส (Juliano, 1971)

1.5.1 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

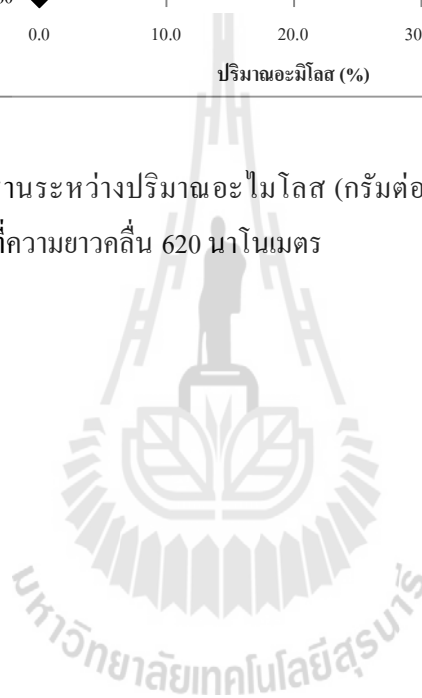
ชั่งตัวอย่างแป้งข้าว 0.1000 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำเอทานอล 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เติมน้ำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันดี จากนั้นเปิดสารละลายแป้งนี้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมน้ำกรดอะซิติก 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันดีและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ทำเช่นเดียวกันนี้แต่ไม่ใส่วัตถุตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแบล็ก แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตร-โฟโตมิเตอร์ นำค่าการดูดกลืนแสงของแป้งข้าวไปหาปริมาณร้อยละอะมิโลส โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

1.5.2 การสร้างกราฟมาตรฐานอะมิโลส

ชั่งอะมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (potato amylose) 0.0400 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำเอทานอล 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ อย่าให้อะมิโลสเกาะที่ผนังขวด เติมน้ำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันดี จากนั้นเปิดสารละลายมาตรฐานอะมิโลสนี้ปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมน้ำกรดอะซิติก 1 โมลาร์ ปริมาตร 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรที่มีสารละลายมาตรฐานอะมิโลสตามลำดับ เติมน้ำสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันดีและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร เขียนกราฟระหว่างปริมาณอะมิโลส (กรัมต่อสารข้าว 100 กรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 8 16 24 32 และ 40) กับค่าการดูดกลืนแสง (แสดงดังรูปที่ ก.1)



ภาพที่ ก.1 กราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณอะมิโนส (กรัมต่อสตาร์ชข้าว 100 กรัม) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร



2. แบบประเมินผลทางประสาทสัมผัส

2.1 แบบประเมินความแตกต่าง

แบบประเมินผลทางประสาทสัมผัส

ชื่อ วันที่

ผลิตภัณฑ์ พุดดิ้งข้าว.....

คำแนะนำ : กรุณาเปรียบเทียบความแตกต่างในคุณลักษณะต่างๆของตัวอย่าง โดยชิมตัวอย่างควบคุม (C) ก่อนแล้วค่อยชิมตัวอย่างที่มีรหัสเลขสามตัว จากนั้นบอกความแตกต่างของตัวอย่างดังกล่าวเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยให้คะแนนความแตกต่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุดลงในช่องว่าง

กำหนดให้ 0 = ไม่มีความแตกต่าง 1 = แตกต่างเล็กน้อย 2 = แตกต่างปานกลาง
3 = แตกต่างมาก 4 = แตกต่างมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง		

สี			
กลิ่นรส			
ความเนียน			
เนื้อสัมผัส			
ลักษณะโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ:.....
.....
.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

2.2 แบบประเมินการยอมรับ

แบบประเมินผลทางประสาทสัมผัส

ชื่อ

วันที่

ผลิตภัณฑ์พุดดิ่งข้าว.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างแล้วให้คะแนนความชอบที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

กำหนดให้ 0 = ไม่มีชอบ

1 = ชอบเล็กน้อย

2 = ชอบปานกลาง

3 = ชอบมาก

4 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	

สี		
กลิ่นรส		
ความเนียน		
เนื้อสัมผัส		
ลักษณะโดยรวม		

ข้อเสนอแนะ:.....

.....

.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

3. การศึกษาอายุการเก็บของพุดดิ้งข้าวหอมมะลิ

3.1.1 การหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (FDA BAM, 2001 Chapter 3)

ชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม ใส่ในถุงตีบด (Stomacher bag) เติมน้ำละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer solution) 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีปั่น (Stomacher) เป็นเวลา 1-2 นาที จะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1} แล้วทำการเจือจางตัวอย่างอาหาร 10 เท่าไปเรื่อย ๆ จนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม จากนั้นใช้ปิเปตดูดตัวอย่างอาหาร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ ทำความเจือจางละ 3 ซ้ำ เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (PCA) ที่กำลังหลอมเหลวประมาณ 12-15 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่มีตัวอย่างอาหารค่อย ๆ หมุนแกว่งจานเพาะเชื้อเบา ๆ เพื่อให้ตัวอย่างอาหารและอาหารเลี้ยงเชื้อผสมเข้ากันดีแล้วปล่อยให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยคว่ำจานเพาะเชื้อ หลังจากบ่มเชื้อตามกำหนดแล้ว ตรวจนับโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 25-250 โคโลนี รายงานผลเป็นจำนวน Colony Forming Unit (CFU) ต่ออาหาร 1 กรัม

3.1.2 การหาปริมาณยีสต์และรา (FDA BAM, 2001 Chapter 18)

ชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม ใส่ในถุงตีบดเติมน้ำละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีปั่นเป็นเวลา 1-2 นาที จะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1} แล้วทำการเจือจางตัวอย่างอาหาร 10 เท่าไปเรื่อย ๆ จนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม จากนั้นใช้ปิเปตดูดตัวอย่างอาหาร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ ทำความเจือจางละ 3 ซ้ำ เทอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ที่กำลังหลอมเหลวประมาณ 20-25 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่มีตัวอย่างอาหารค่อย ๆ หมุนแกว่งจานเพาะเชื้อเบา ๆ เพื่อให้ตัวอย่างอาหารและอาหารเลี้ยงเชื้อผสมเข้ากันดีแล้วปล่อยให้อาหารเลี้ยงเชื้อแข็งตัว นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน โดยไม่ต้องคว่ำจานเพาะเชื้อ หลังจากบ่มเชื้อตามกำหนดแล้ว ตรวจนับโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 10-150 โคโลนี รายงานผลเป็นจำนวน CFU ต่ออาหาร 1 กรัม

3.1.3 การหาปริมาณ Coliform กับ *E. coli* (3M Petrifilm)

ชั่งตัวอย่างอาหาร 25 กรัม ใส่ในถุงตีบดเติมน้ำละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 225 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องตีปั่นเป็นเวลา 1-2 นาที จะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจาง 10^{-1} แล้วทำการเจือจางตัวอย่างอาหาร 10 เท่าไปเรื่อย ๆ จนได้ระดับความเจือจางที่เหมาะสม จากนั้นใช้ปิเปตดูดตัวอย่างอาหาร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงกลางแผ่นฟิล์มแผ่นล่างแล้วค่อย ๆ ปิดแผ่นฟิล์มแผ่นบนลง ระมัดระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ วางตัวกดโดยให้ด้านเรียบคว่ำหน้าลงสัมผัสแผ่นฟิล์มแผ่นบนให้ส่วนวงกลมครอบบริเวณที่หยดตัวอย่าง ใช้นิ้วชี้กดลงพอประมาณจนตัวอย่างอาหารกระจายเต็มวงกลมภายในขอบโฟมแล้วปล่อยให้เนื้อเจลแข็งตัวก่อนเคลื่อนย้ายแผ่นนำไปบ่มโดยให้ด้านใสอยู่ด้านบน บ่มที่อุณหภูมิ 35-37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงสำหรับ Coliform และ 48 ชั่วโมงสำหรับ *E. coli*

หลังจากบ่มเชื้อตามกำหนดแล้ว ตรวจนับโคโลนีของ *E. coli* คือโคโลนีสีน้ำเงินที่มีฟองก๊าซ และตรวจนับปริมาณ Coliform ทั้งหมดคือโคโลนีสีแดงและสีน้ำเงินที่มีฟองก๊าซ รายงานผลเป็นจำนวน MPN ต่ออาหาร 1 กรัม



ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง



1. ผลทางสถิติขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิ

T-Test

Group Statistics					
	Flour	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Protein	HPJF	3	7.6967	.04619	.02667
	LPJF	3	3.5433	.03512	.02028
Fat	HPJF	3	.6928	.03779	.02182
	LPJF	3	.1271	.07540	.04353
Ash	HPJF	3	.4220	.00626	.00361
	LPJF	3	.1632	.00407	.00235
Moisture	HPJF	3	9.3767	.00577	.00333
	LPJF	3	8.2500	.02646	.01528
Amylose	HPJF	3	17.0667	.05774	.03333
	LPJF	3	19.2333	.05774	.03333

Independent Samples Test

		Levene's Test for		t-test for Equality of Means						
		Equality of								
		Variances								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Protein	Equal variances assumed	.645	.467	123.982	4	.000	4.15333	.03350	4.06032	4.24634
	Equal variances not assumed			123.982	3.733	.000	4.15333	.03350	4.05764	4.24902
Fat	Equal variances assumed	1.744	.257	11.619	4	.000	.56577	.04869	.43057	.70096
	Equal variances not assumed			11.619	2.945	.001	.56577	.04869	.40915	.72239
Ash	Equal variances assumed	1.048	.364	60.068	4	.000	.25877	.00431	.24681	.27073
	Equal variances not assumed			60.068	3.435	.000	.25877	.00431	.24599	.27155
Moisture	Equal variances assumed	7.000	.057	72.062	4	.000	1.12667	.01563	1.08326	1.17008
	Equal variances not assumed			72.062	2.190	.000	1.12667	.01563	1.06469	1.18864
Amylose	Equal variances assumed	.000	1.000	-45.962	4	.000	-2.16667	.04714	-2.29755	-2.03578
	Equal variances not assumed			-45.962	4.000	.000	-2.16667	.04714	-2.29755	-2.03578

2. ผลทางสถิติของคุณสมบัติทางความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิ

T-Test

Group Statistics					
	Flour	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Peak Viscosity	HPJF	2	99.1650	.58690	.41500
	LPJF	2	1.2962E2	3.71231	2.62500
Trough	HPJF	2	74.7100	.05657	.04000
	LPJF	2	39.7500	.82024	.58000
Breakdown	HPJF	2	24.4600	.65054	.46000
	LPJF	2	89.8750	2.89207	2.04500
Final Viscosity	HPJF	2	1.4750E2	1.52735	1.08000
	LPJF	2	73.2950	.88388	.62500
Setback	HPJF	2	72.7900	1.47078	1.04000
	LPJF	2	33.5400	.05657	.04000
Peak Time	HPJF	2	5.7650	.04950	.03500
	LPJF	2	4.3650	.04950	.03500
Pasting	HPJF	2	84.0250	4.63155	3.27500
Temperature	LPJF	2	73.5000	.00000	.00000

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of		t-test for Equality of Means						
		Variances								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Peak Viscosity	Equal variances assumed	1.616E18	.000	-11.461	2	.008	-30.46000	2.65760	-41.89474	-19.02526
	Equal variances not assumed			-11.461	1.050	.050	-30.46000	2.65760	-60.65818	-.26182
Trough	Equal variances assumed	2.412E16	.000	60.133	2	.000	34.96000	.58138	32.45853	37.46147
	Equal variances not assumed			60.133	1.010	.010	34.96000	.58138	27.73537	42.18463
Breakdown	Equal variances assumed	8.313E17	.000	-31.208	2	.001	-65.41500	2.09610	-74.43378	-56.39622
	Equal variances not assumed			-31.208	1.101	.015	-65.41500	2.09610	-86.91783	-43.91217
Final Viscosity	Equal variances assumed	.	.	59.468	2	.000	74.20500	1.24781	68.83612	79.57388
	Equal variances not assumed			59.468	1.602	.001	74.20500	1.24781	67.33296	81.07704
Setback	Equal variances assumed	.	.	37.713	2	.001	39.25000	1.04077	34.77193	43.72807
	Equal variances not assumed			37.713	1.003	.017	39.25000	1.04077	26.11760	52.38240
Peak Time	Equal variances assumed	.000	1.000	28.284	2	.001	1.40000	.04950	1.18703	1.61297
	Equal variances not assumed			28.284	2.000	.001	1.40000	.04950	1.18703	1.61297
Pasting Temperature	Equal variances assumed	.	.	3.214	2	.085	10.52500	3.27500	-3.56619	24.61619
	Equal variances not assumed			3.214	1.000	.192	10.52500	3.27500	-31.08782	52.13782

3. ผลทางสถิติของการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของพุดdingข้าวหอมมะลิ

3.1 การประเมินความแตกต่าง

3.1.1 พุดdingที่ทำจาก HPJF

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Color

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	184.157 ^a	35	5.262	10.606	.000
Intercept	466.519	1	466.519	940.347	.000
Sample	122.248	6	20.375	41.068	.000
Panel	61.910	29	2.135	4.303	.000
Error	86.324	174	.496		
Total	737.000	210			
Corrected Total	270.481	209			

a. R Squared = .681 (Adjusted R Squared = .617)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Post Hoc Tests**Sample****Homogeneous Subsets****Color****Duncan**

Sample	N	Subset		
		1	2	3
Egg	30	.00		
1.00KHPS	30		.93	
0.25KHPS	30		1.17	
0.50KHPS	30			1.93
0.50KOSA	30			2.10
1.00KOSA	30			2.13
0.25KOSA	30			2.17
Sig.		1.000	.201	.248

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = .496.

Univariate Analysis of Variance**Tests of Between-Subjects Effects****Dependent Variable: Flavor**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	95.652 ^a	35	2.733	4.034	.000
Intercept	267.471	1	267.471	394.821	.000
Sample	48.695	6	8.116	11.980	.000
Panel	46.957	29	1.619	2.390	.000
Error	117.876	174	.677		
Total	481.000	210			
Corrected Total	213.529	209			

a. R Squared = .448 (Adjusted R Squared = .337)

Post Hoc Tests**Sample****Homogeneous Subsets****Flavor****Duncan**

Sample	N	Subset		
		1	2	3
Egg	30	.00		
1.00KOSA	30		1.07	
0.50KOSA	30		1.23	1.23
0.25KHPS	30		1.30	1.30
0.25KOSA	30		1.37	1.37
0.50KHPS	30		1.37	1.37
1.00KHPS	30			1.57
Sig.		1.000	.215	.167

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = .677.

Univariate Analysis of Variance**Tests of Between-Subjects Effects****Dependent Variable: Smoothness**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	141.371 ^a	35	4.039	8.719	.000
Intercept	368.019	1	368.019	794.389	.000
Sample	86.248	6	14.375	31.028	.000
Panel	55.124	29	1.901	4.103	.000
Error	80.610	174	.463		
Total	590.000	210			
Corrected Total	221.981	209			

a. R Squared = .637 (Adjusted R Squared = .564)

Post Hoc Tests**Sample****Homogeneous Subsets****Smoothness****Duncan**

Sample	N	Subset				
		1	2	3	4	5
Egg	30	.00				
0.25KHPS	30		1.10			
1.00KOSA	30		1.30	1.30		
1.00KHPS	30		1.30	1.30		
0.50KOSA	30			1.60	1.60	
0.50KHPS	30				1.73	
0.25KOSA	30					2.23
Sig.		1.000	.287	.109	.449	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = .463.

Univariate Analysis of Variance**Tests of Between-Subjects Effects****Dependent Variable: Texture**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	142.062 ^a	35	4.059	6.782	.000
Intercept	448.805	1	448.805	749.923	.000
Sample	99.295	6	16.549	27.653	.000
Panel	42.767	29	1.475	2.464	.000
Error	104.133	174	.598		
Total	695.000	210			
Corrected Total	246.195	209			

a. R Squared = .577 (Adjusted R Squared = .492)

Post Hoc Tests**Sample****Homogeneous Subsets****Texture****Duncan**

Sample	N	Subset			
		1	2	3	4
Egg	30	.00			
1.00KOSA	30		.97		
0.50KOSA	30			1.57	
0.25KHPS	30			1.73	1.73
0.25KOSA	30			1.93	1.93
1.00KHPS	30			1.97	1.97
0.50KHPS	30				2.07
Sig.		1.000	1.000	.068	.131

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = .598.

Univariate Analysis of Variance**Tests of Between-Subjects Effects****Dependent Variable: Overall**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	103.362 ^a	35	2.953	6.608	.000
Intercept	422.876	1	422.876	946.228	.000
Sample	80.524	6	13.421	30.030	.000
Panel	22.838	29	.788	1.762	.014
Error	77.762	174	.447		
Total	604.000	210			
Corrected Total	181.124	209			

a. R Squared = .571 (Adjusted R Squared = .484)

Post Hoc Tests**Sample****Homogeneous Subsets****Overall****Duncan**

Sample	N	Subset		
		1	2	3
Egg	30	.00		
0.25KHPS	30		1.40	
1.00KHPS	30		1.43	
1.00KOSA	30		1.47	
0.50KOSA	30		1.73	1.73
0.50KHPS	30			1.90
0.25KOSA	30			2.00
Sig.		1.000	.079	.147

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = .447.

3.1.2 พุดdingที่ทำจาก LPJF**Univariate Analysis of Variance****Tests of Between-Subjects Effects****Dependent Variable: Color**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	235.657 ^a	35	6.733	19.090	.000
Intercept	658.971	1	658.971	1.868E3	.000
Sample	184.629	6	30.771	87.243	.000
Panel	51.029	29	1.760	4.989	.000
Error	61.371	174	.353		
Total	956.000	210			
Corrected Total	297.029	209			

a. R Squared = .793 (Adjusted R Squared = .752)

Post Hoc Tests

Sample

Homogeneous Subsets

Color

Duncan

Sample	N	Subset				
		1	2	3	4	5
Egg	30	.00				
0.25KHPS	30		1.03			
1.00KHPS	30			1.73		
0.50KHPS	30			1.77		
0.25KOSA	30				2.27	
0.50KOSA	30				2.57	
1.00KOSA	30					3.03
Sig.		1.000	1.000	.828	.052	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = .353.

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Flavour

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	100.557 ^a	35	2.873	4.797	.000
Intercept	224.233	1	224.233	374.405	.000
Sample	38.933	6	6.489	10.835	.000
Panel	61.624	29	2.125	3.548	.000
Error	104.210	174	.599		
Total	429.000	210			
Corrected Total	204.767	209			

a. R Squared = .491 (Adjusted R Squared = .389)

Post Hoc Tests**Sample****Homogeneous Subsets****Flavour****Duncan**

Sample	N	Subset	
		1	2
Egg	30	.00	
0.25KOSA	30		1.07
0.25KHPS	30		1.17
0.50KOSA	30		1.17
1.00KHPS	30		1.20
0.50KHPS	30		1.27
1.00KOSA	30		1.37
Sig.		1.000	.196

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = .599.

Univariate Analysis of Variance**Tests of Between-Subjects Effects****Dependent Variable: Smoothness**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	118.214 ^a	35	3.378	7.388	.000
Intercept	295.243	1	295.243	645.844	.000
Sample	66.457	6	11.076	24.229	.000
Panel	51.757	29	1.785	3.904	.000
Error	79.543	174	.457		
Total	493.000	210			
Corrected Total	197.757	209			

a. R Squared = .598 (Adjusted R Squared = .517)

Post Hoc Tests**Sample****Homogeneous Subsets****Smoothness****Duncan**

Sample	N	Subset			
		1	2	3	4
Egg	30	.00			
1.00KHPS	30		1.07		
0.25KOSA	30		1.10		
0.25KHPS	30		1.17		
0.50KOSA	30		1.40	1.40	
0.50KHPS	30			1.67	1.67
1.00KOSA	30				1.90
Sig.		1.000	.083	.128	.183

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = .457.

Univariate Analysis of Variance**Tests of Between-Subjects Effects****Dependent Variable: Texture**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	106.776 ^a	35	3.051	5.550	.000
Intercept	276.576	1	276.576	503.141	.000
Sample	66.924	6	11.154	20.291	.000
Panel	39.852	29	1.374	2.500	.000
Error	95.648	174	.550		
Total	479.000	210			
Corrected Total	202.424	209			

a. R Squared = .527 (Adjusted R Squared = .432)

Post Hoc Tests**Sample****Homogeneous Subsets****Texture****Duncan**

Sample	N	Subset		
		1	2	3
Egg	30	.00		
0.50KOSA	30		.83	
0.25KOSA	30		.90	
0.25KHPS	30			1.50
1.00KHPS	30			1.50
1.00KOSA	30			1.63
0.50KHPS	30			1.67
Sig.		1.000	.728	.435

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = .550.

Univariate Analysis of Variance**Tests of Between-Subjects Effects****Dependent Variable: Overall**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	115.067 ^a	35	3.288	8.930	.000
Intercept	422.876	1	422.876	1.149E3	.000
Sample	85.657	6	14.276	38.779	.000
Panel	29.410	29	1.014	2.755	.000
Error	64.057	174	.368		
Total	602.000	210			
Corrected Total	179.124	209			

a. R Squared = .642 (Adjusted R Squared = .570)

Post Hoc Tests

Sample

Homogeneous Subsets

Overall

Duncan

Sample	N	Subset			
		1	2	3	4
Egg	30	.00			
0.25KOSA	30		1.33		
0.25KHPS	30		1.37		
1.00KHPS	30		1.57	1.57	
0.50KOSA	30			1.70	
0.50KHPS	30			1.77	
1.00KOSA	30				2.20
Sig.		1.000	.162	.232	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = .368.

3.2 การประเมินการยอมรับของฟุตติ้ง 1.00KOSA_HPJF และ 0.25KOSA_LPJF

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Color

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	22.500 ^a	30	.750	2.075	.026
Intercept	476.017	1	476.017	1.317E3	.000
Sample	2.017	1	2.017	5.579	.025
Panel	20.483	29	.706	1.954	.038
Error	10.483	29	.361		
Total	509.000	60			
Corrected Total	32.983	59			

a. R Squared = .682 (Adjusted R Squared = .353)

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Flavor

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	54.000 ^a	30	1.800	2.786	.004
Intercept	395.267	1	395.267	611.890	.000
Sample	11.267	1	11.267	17.441	.000
Panel	42.733	29	1.474	2.281	.015
Error	18.733	29	.646		
Total	468.000	60			
Corrected Total	72.733	59			

a. R Squared = .742 (Adjusted R Squared = .476)

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Mealiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	30.300 ^a	30	1.010	1.021	.478
Intercept	380.017	1	380.017	384.212	.000
Sample	.817	1	.817	.826	.371
Panel	29.483	29	1.017	1.028	.471
Error	28.683	29	.989		
Total	439.000	60			
Corrected Total	58.983	59			

a. R Squared = .514 (Adjusted R Squared = .011)

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Texture

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	23.800 ^a	30	.793	.591	.921
Intercept	355.267	1	355.267	264.625	.000
Sample	.067	1	.067	.050	.825
Panel	23.733	29	.818	.610	.906
Error	38.933	29	1.343		
Total	418.000	60			
Corrected Total	62.733	59			

a. R Squared = .379 (Adjusted R Squared = -.263)

Univariate Analysis of Variance

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Overall

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	41.900 ^a	30	1.397	3.193	.001
Intercept	400.417	1	400.417	915.539	.000
Sample	4.817	1	4.817	11.013	.002
Panel	37.083	29	1.279	2.924	.003
Error	12.683	29	.437		
Total	455.000	60			
Corrected Total	54.583	59			

a. R Squared = .768 (Adjusted R Squared = .527)

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุนันทา ประจํา เกิดเมื่อวันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดตราด จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนสตรีประเสริฐศิลป์ในปีการศึกษา 2550 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2554 หลังจากนั้นจึงได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประสบการณ์ด้านวิชาการ/การทำงาน/ฝึกอบรม

- ปฏิบัติหน้าที่พี่เลี้ยงทางวิชาการในการจัดค่ายเตรียมความพร้อมด้านความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์สำหรับนักศึกษาใหม่ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (19-24 พฤษภาคม พ.ศ. 2552)
- ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท รวมเกษตรกรอุตสาหกรรม จำกัด (โรงงานน้ำตาลมิตรภูเขียว) จังหวัดชัยภูมิ (เมษายน-สิงหาคม พ.ศ. 2553)
- The effect of protein content in jasmine rice flour on textural and rheological properties of jasmine rice pudding. Sunanta Pracham and Siwatt Thaiudom. Oral presentation. ICAAI2014 November 20-21, 2014. Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.
- The effect of protein content in jasmine rice flour on textural and rheological properties of jasmine rice pudding. Sunanta Pracham and Siwatt Thaiudom. International Food Research Journal, 23(4): 1379-1388 (2016).